ประมวลบทความ (Proceedings)
ในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13
ผลงานนำเสนอแบบโปสเตอร์

RESEARCH and INNOVATIONS
TO STRENGTHEN THE NEW ECONOMY
การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจกระแสใหม่

11-12 กรกฎาคม 2562
ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สกสว TSRI

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาชุมชนท้องถิ่น
มูลนิธิประชาสังคม จ.อุบลฯ

ประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13

การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจกระแสใหม่

(Research and Innovations to Strengthen the New Economy)

วันที่ 11-12 กรกฎาคม 2562

ณ อาคารเทพรัตนสิริปภา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สารจากรองอธิการบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรมและบริการวิชาการ

งานประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย เป็นงานประชุมวิชาการประจำปีที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จัดมาอย่างต่อเนื่อง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นเวทีในการนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับประเทศ สำหรับให้นักวิชาการหลากหลายสาขาและหลากหลายสถาบัน มาร่วมกันนำเสนอผลงานวิชาการ ร่วมแลกเปลี่ยนแนวคิดทางวิชาการ และถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ผู้ใช้โดยตรง รวมถึงการต่อยอดผลงาน ทั้งในระดับวิชาการและการใช้ประโยชน์

การจัดงานประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ในปีนี้จัดขึ้นเป็นปีที่ 13 ในระหว่างวันที่ 11-12 กรกฎาคม 2562 ณ อาคารเทพรัตนสิริปภา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ภายใต้ชื่อแนวคิด **การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจกระแสใหม่ (Research and Innovations to Strengthen the New Economy)** ซึ่งเน้นนำเสนอผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการยกระดับคุณภาพชีวิตโดยตรง กิจกรรมในงานประกอบด้วย การประชุมเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยในสาขาต่างๆ ทั้งภาคโปสเตอร์ และการนำเสนอด้วยวาจา การเสวนาทางวิชาการด้านการพัฒนาคุณภาพชีวิต การมอบรางวัลนักวิจัยดีเด่น และการบรรยายพิเศษ ซึ่งได้รับเกียรติจากผู้ทรงคุณวุฒิ ได้แก่ นายอัศวิน เตชะเจริญวิกุล ประธานเจ้าหน้าที่บริหารและกรรมการผู้จัดการใหญ่ บริษัท เบอร์ลี่ ยุคเกอร์ จำกัด (มหาชน) ดร.กิติพงค์ พร้อมวงค์ ผู้อำนวยการสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) วิทยากรเสวนา ศาสตราจารย์สุริชัย หวันแก้ว จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณศิริศักดิ์ สะดวก ผู้ประสานงานเครือข่ายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมภาคอีสาน คุณมะลิจิตร เอกตาแสง กรรมการกลุ่มอนุรักษ์ลุ่มน้ำเซบาย ผู้แทนชาวบ้านกลุ่มสำนึกรักษ์บ้านเกิดจังหวัดศรีสะเกษ รองศาสตราจารย์กนกวรรณ มะโนรมย์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ในนามผู้จัดการประชุม ขอขอบพระคุณคณะวิทยากรทุกส่วน ผู้นำเสนอผลงาน ผู้เข้าร่วมประชุม ตลอดจนคณะทำงานทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนให้การจัดการประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13 นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อย่างไรก็ตาม หากมีข้อผิดพลาด หรือบกพร่องประการใด คณะผู้จัดงานขอน้อมรับและจะนำมาปรับปรุงพัฒนาการทำงานในปีต่อ ๆ ไป และหวังว่าจะได้รับเกียรติจากท่านเข้าร่วมงานในปีต่อ ๆ ไป

รองศาสตราจารย์ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรมและบริการวิชาการ

กำหนดการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13
การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจกระแสใหม่
(Research and Innovations to Strengthen the New Economy)
วันที่ 11-12 กรกฎาคม พ.ศ. 2562
ณ อาคารเทพรัตนสิริปภา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วันพฤหัสบดีที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

08.30 - 09.00 น. ลงทะเบียน

09.00 - 09.45 น. พิธีเปิด

กล่าวรายงาน โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรมและบริการวิชาการ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เปิดงาน พิธีมอบรางวัลนักวิจัย ผลงานวิจัยดีเด่น รางวัลเชิดชูเกียรตินักวิจัย
โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินันท์ ประสิทธิ์ภูริปรีชา
รักษาราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

09.45- 10.45 น. บรรยาย เรื่อง **“เศรษฐกิจกระแสใหม่ของโลก ของไทย และบทบาทนักวิจัยไทยที่ควรเป็น จากมุมมองภาคเอกชน”**
โดย **นายอัศวิน เตชะเจริญวิกุล** ประธานเจ้าหน้าที่บริหารและกรรมการผู้จัดการใหญ่
บริษัท เบอร์ลี่ ยุคเกอร์ จำกัด (มหาชน)

10.45 - 11.00 น. พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม

11.00 - 12.00 น. กิจกรรมภาคการนำเสนอผลงานและการเสวนา

- งานวิจัยรองรับสังคมสูงวัย ห้อง Ballroom BC
- เสวนาวิชาการ “อุตสาหกรรมน้ำตาล และโรงไฟฟ้าชีวมวลในอีสาน : ลดความเหลื่อมล้ำสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน?” ห้อง U2
- งานวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์ ห้อง U3
- งานวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ห้อง U6

12.00 - 13.00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน

13.00 - 16.30 น. กิจกรรมภาคการนำเสนอผลงานและการเสวนา

- งานวิจัยรองรับสังคมสูงวัย ห้อง Ballroom BC
- เสวนาวิชาการ “อุตสาหกรรมน้ำตาล และโรงไฟฟ้าชีวมวลในอีสาน : ลดความเหลื่อมล้ำสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน?” ห้อง U2
- งานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษาและสารสนเทศ ห้อง U3
- งานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ห้อง U6
- นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ ณ ลานกิจกรรม

วันศุกร์ที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

08.30 - 09.00 น. ลงทะเบียน

09.00 - 09.30 น. พิธีมอบรางวัล การนำเสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์ดีเด่น
โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรมและบริการวิชาการ

09.30 - 10.30 น. บรรยาย เรื่อง **"ทิศทางและระบบบริหารการวิจัยใหม่ของชาติ ภายใต้บริบทกระทรวงใหม่"**
โดย ดร.กิติพงค์ พร้อมวงค์ ผู้อำนวยการสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) ห้อง Ballroom BC

10.30 - 10.45 น. พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม

10.45 - 12.00 น. บรรยาย เรื่อง "**บทบาทและทิศทางของมหาวิทยาลัย ภายใต้กระทรวงใหม่**"
โดย ดร.กิติพงค์ พร้อมวงค์ ผู้อำนวยการสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) ห้อง U2

10.45 - 12.00 น. นำเสนอผลงานภาคบรรยาย

- งานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ห้อง U3
- งานวิจัยสาขาเกษตรและเทคโนโลยี ห้อง U6

12.00 - 13.00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน

13.00 - 16.30 น. นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย

- งานวิจัยสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ห้อง U3
- งานวิจัยสาขาภาษาศาสตร์ ห้อง U6

16.30 น. ปิดการประชุม

หมายเหตุ กำหนดการอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความจำเป็นและเหมาะสม
มอบรางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายระดับดีและเกียรติบัตรนำเสนอ ณ ห้องที่นำเสนอ
ช่วงบ่ายบริการอาหารว่างและเครื่องดื่มในห้องประชุม

วงโสบทเฮียนเพื่อร่วมเขียน Isan's Future สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน[1]
เวทีเสวนาวิชาการ "นโยบายสาธารณะ อุตสาหกรรมน้ำตาลและโรงไฟฟ้าชีวมวลในอีสาน : ลดความเหลื่อมล้ำสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน?
วันที่ 11 กรกฎาคม 2562 เวลา 10.45 – 16.00 น.
ห้อง U2 ณ อาคารเทพรัตนสิริปภา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

10.45 - 12.30 น. เวทีเสวนาหัวข้อ **"โรงงานน้ำตาลกับการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์อีสานกับการลดความเหลื่อมล้ำสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน และ บทบาทรัฐและมหาวิทยาลัย"**

ศาสตราจารย์สุริชัย หวันแก้ว
ผู้อำนวยการศูนย์ศึกษาสันติภาพและความขัดแย้ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายชยันต์ ศิริมาศ
ผู้ว่าราชการจังหวัดมุกดาหาร

นายแพทย์นิรันดร์ พิทักษ์วัชระ
คณบดี วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข

คุณศิริศักดิ์ สะดวก
ผู้ประสานงานเครือข่ายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมภาคอีสาน

ดำเนินการเสวนาโดย

นายธวัช มณีผ่อง
อาจารย์คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

12.30 - 13.30 น. พักรับประทานอาหาร

13.30 - 16.00 น. เวทีเสวนาหัวข้อ **"ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสาธารณะด้านพืชพลังงานเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน: บทเรียนจากชุมชนและภาคเอกชน"**

วิทยากร

ศาสตราจารย์สุริชัย หวันแก้ว
ผู้อำนวยการศูนย์ศึกษาสันติภาพและความขัดแย้ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์กนกวรรณ มะโนรมย์
ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยสังคมอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คุณกัณฑ์พร กรรณสูต
ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่ฝ่ายสื่อสารองค์กร บริษัทอุบล ไบโอ เอทานอล จำกัด (มหาชน)

คุณมะลิจิตร เอกตาแสง
กรรรมการกลุ่มอนุรักษ์ลุ่มน้ำเซบาย ผู้แทนชาวบ้านกลุ่มสำนึกรักษ์บ้านเกิด จังหวัดศรีสะเกษ

ดำเนินการเสวนาโดย

นายสุรสม กฤษณะจูฑะ
อาจารย์คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[1] ดำเนินการโดย โครงการการจัดการความรู้เพื่อลดความเหลื่อมล้ำและสร้างความเป็นธรรมในสังคม (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ร่วมกับศูนย์วิจัยสังคมอนุภูมิภาคแม่น้ำโขง คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “งานวิจัยรองรับสังคมสูงวัย”

วันพฤหัสบดีที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 ณ ห้อง Ballroom BC

เวลา 11.00-13.00 น. นำเสนอผลงานวิจัย แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และผู้ทรงคุณวุฒิให้ข้อเสนอแนะ

1. กระบวนหนุนเสริมการสร้างระบบ กลไกและพื้นที่รูปธรรมรองรับสังคมสูงวัย
ผศ. (พิเศษ) กาญจนา ทองทั่ว

2. การพัฒนาระบบและกลไก เพื่อเตรียมความพร้อมสู่สังคมสูงวัย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
ผศ.ดร.กิตติ เหลาสุภาพ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. รูปแบบการเตรียมชุมชนเพื่อรองรับสังคมสูงวัยแบบบูรณาการ : กรณีศึกษาชุมชนตำบลโนนโหนน อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
ผศ.จิราภรณ์ หลาบคำ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

4. การเตรียมความพร้อมของชุมชนกึ่งเมืองเพื่อรองรับการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ กรณีศึกษา : ตำบลบุ่งหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
นายสิทธิชัย ใจขาน วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

5. การพัฒนาชุมชนเมืองแบบมีส่วนร่วมเพื่อรองรับสังคมสูงวัย ตำบลแสนสุข อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
นางสาวจีราพร ทิพย์พิลา วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. การผลิตสื่ออย่างมีส่วนร่วมเพื่อการสื่อสารโครงการรองรับสังคมสูงวัย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
นายรพินทร์ ยืนยาว และคณะ

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขาวิศวกรรมศาสตร์”

วันพฤหัสบดีที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U3

เวลา 10.45-1200 น. ประธาน : ผศ.ดร.อนุสรณ์ นิยมพันธ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. การระบุแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคสำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
ดร.ธีรวุฒิ ไชยธรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2. การวัดรูปแบบการเดินบนลู่วิ่งไฟฟ้าด้วย LIDAR
รศ.ดร.สุชิน ไตรรงค์จิตเหมาะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. การเพิ่มค่าสภาพความไวในตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเลตของหัววัดซิงค์ออกไซด์เตตระพอตโดยการเจือดีบุก
ดร.ธีระพงษ์ แสนทวีสุข คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษาและสารสนเทศ”

วันพฤหัสบดีที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U3

เวลา 13.00-15.00 น. ประธาน : ผศ.ดร.อธิพงศ์ สุริยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5Es) ร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2**
   นางสาวณัฐนันท์ เฉลียวพงษ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2. **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ระบบหมุนเวียนเลือด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์**
   นายวาทิต แสงจันทร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. **การพัฒนามโนมติ เรื่อง คลื่นนิ่งของนักเรียนโดยการใช้แอพลิเคชันร่วมกับการทดลองอย่างง่าย**
   นางสาวกฤษณา คล่องแคล่ว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

4. **การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วย simulation เป็นฐานเพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 รายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรง**
   นายนิพัทธโรจน์ ส่องแสง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

5. **การพัฒนาแอปพลิเคชันความจริงเสริมแบบพลวัต : กรณีศึกษาสื่อการเรียนรู้เรื่อง โทโพโลยีระบบเครือข่าย**
   นายทศพร งามเถื่อน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. **การพัฒนาระบบการค้าส่งและบริหารลูกหนี้ กรณีศึกษาการประเมินความเสี่ยงในการชำระหนี้**
   นายชุมพร หลินหะตระกูล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี”

วันพฤหัสบดีที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U6

เวลา 10.45-12.00 น. ประธาน : ผศ.ดร.สมภพ สนองราษฎร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. **การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากแป้งมันสำปะหลังด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่อุณหภูมิปกติ**
   ผศ.ดร.อุดม ทิพราช คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2. **การดูดซับแมงกานีส (II) โดยใช้ฟิล์มคอมโพสิตเพคตินจากเปลือกแก้วมังกร**
   นางสาวณัฐกานต์ ภู่ไหม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. **การย่อยสลายไดโคฟอลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน**
   นางสาวอภิญญา อ่อนสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ”

วันพฤหัสบดีที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U6

เวลา 13.00-15.30 น. ประธาน : รศ.ดร.วริษฎา ศิลาอ่อน คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. **อนุพันธ์ของสารชาลโคลชะลอการเติบโตของซีสต์ในเซลล์โมเดลโรคถุงน้ำในไตผ่านการยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์ซีสต์ใหม่**
   นางสาวพีระฉัตร วีระพันธ์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. **ผลของยาไอบูโพรเฟน นาพรอกเซนและไดโคลฟีแนคต่อการเพิ่มจำนวนของเซลล์เพาะเลี้ยงมะเร็งท่อน้ำดี**
   นางสาวกมลรส กำแพงนิล วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
3. **ฤทธิ์ของสารสกัดผลเม่าหลวงต่อพยาธิใบไม้ตับในสัตว์ทดลอง**
   ดร.รัชฎาวรรณ อรรคนิมาตย์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
4. **ปัจจัยทำนายพฤติกรรมการป้องกันโรคความดันโลหิตสูงในกลุ่มเสี่ยงโรคความดันโลหิตสูง**
   นางสาวยุพาวดี แซ่เตีย คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
5. **เสียงรบกวนจากการจราจรในหอพักใกล้ริมถนนด้านหน้ามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**
   ผศ.นิตยา ชาคำรุณ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
6. **ความรู้และพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ของเกษตรกรผู้ปลูกผักในตำบลขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี**
   ดร.ลักษณีย์ บุญขาว วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
7. **การประเมินความเสี่ยงจากการทำงานของพนักงานเก็บขนขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี**
   นางสาวจีราพร ทิพย์พิลา วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ”

วันศุกร์ที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U3

เวลา 10.45-12.00 น. ประธาน : ผศ.ดร.เมรีรัตน์ มั่นวงศ์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. **ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกับสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกดอกไม้**
   นางสาวนิภาพร คำหลอม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. **การประเมินเสียงรบกวนจากโรงสีข้าวชุมชน : กรณีศึกษาบ้านบาก ตำบลสระสมิง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี**
   นางสาวสุพรรณิการ์ ชาเหลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
3. **การค้นหากฎความสัมพันธ์ของข้อมูลการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังในผู้ป่วยกลุ่มวัยทำงาน**
   นายธนสิทธิ์ สนั่นเมือง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์”

วันศุกร์ที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U3

เวลา 13.00-15.00 น. ประธาน : รศ.สมหมาย ชินนาค คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. **ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลาออกจากงานและการคงอยู่ : กรณีศึกษาล่ามภาษาญี่ปุ่นในบริษัทญี่ปุ่น เขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน**
   นายพัชยา โสภณสิทธิพงศ์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพ

2. **เงื่อนไขและลักษณะเฉพาะของ “สังคมผู้ประกอบการชนบท” ในหมู่บ้านใกล้เมืองภาคอีสาน**
   ผศ.ดร.พฤกษ์ เถาถวิล คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. **การศึกษาความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวชาวญี่ปุ่นต่อสถานที่ท่องเที่ยวในพื้นที่อีสานใต้ผ่านรีวิวในเว็บไซต์ TripAdvisor**
   นางสาวชาคริยา ชุมมวล คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

4. **กลวิธีการนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับพระโพธิสัตว์อวโลกิเตศวรในบทละครโน เรื่อง “ยุยะ”**
   นางสาววนัสนันทน์ สุกทน คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

5. **เรื่องเล่าประมงพื้นบ้านปากมูนกับปฏิบัติการในชีวิตประจำวัน**
   นายพงษ์เทพ บุญกล้า คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. **ทุนวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อการอนุรักษ์วัฒนธรรมของชุมชน : กรณีศึกษาการทำเทียนพรรษาโบราณ อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชานี**
   ดร.เหมวรรณ เหมะนัค คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขาเกษตรและเทคโนโลยี”

วันศุกร์ที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U6

เวลา 10.45-12.00 น. ประธาน : ดร.จิตราภรณ์ เยียนเพชร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. **ความหลากชนิดของหิ่งห้อยในพื้นที่เกษตรบ้านบัว ตำบลบ้านตุ่น อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา**
   นายภาณุพงศ์ ชัยวงศ์แสน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. **การศึกษาการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปในบ่อซีเมนต์**
   นายวิรกร ไชยเสน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. **การศึกษาการเจริญเติบโตและอัตรารอดของลูกปลาหมอไทยที่อนุบาลด้วยอาหารจากแหล่งที่แตกต่างกัน**
   นายพอนสะหวัน ไชยะบุบผา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย “สาขาภาษาศาสตร์”

วันศุกร์ที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ณ ห้อง U6

เวลา 13.00-15.00 น. ประธาน : ผศ.ดร.ปรียาภรณ์ เจริญบุตร คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. **การศึกษาเปรียบเทียบลีลาการเรียนรู้ภาษาของนักศึกษาหลักสูตรศิลปศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาไทยและการสื่อสาร และสาขาวิชาภาษาญี่ปุ่นและการสื่อสาร คณะศิลปศาสตร์**
   ผศ.ดร.ภาสพงศ์ ผิวพอใช้ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2. **กลวิธีทางภาษาและอุดมการณ์ความเป็นพลเมือง : กรณีศึกษาหนังสือเรียนรายวิชาหน้าที่พลเมือง ระดับประถมศึกษา ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**
   นางสาวปิยธิดา นามโคตร คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3. **กลวิธีทางภาษาเพื่อสื่ออุดมการณ์ทางการเมืองที่ปรากฏในรายการคืนวันศุกร์ให้ประชาชน**
   นางสาววณิชชา โนภาศ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

4. **ปริบทของปริจเฉทในการสัมภาษณ์รายการวิทยุ “คลับฟรายเดย์”**
   นางสาวแพรวตา ศรีษะโคตร คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

5. **กลวิธีทางภาษาในแฟนเพจเฟซบุ๊ก “Group มนุษย์เงินเดือน”**
   นางสาวนภาจริน สุขอ้วน คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. **กลวิธีทางภาษากับการนำเสนออัตลักษณ์ของตุ๊ด จาก ไดอารี่ตุ๊ดซี่ส์ เดอะซีรีส์**
   นางวราพร สารกุล คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สารบัญ

หน้า

- สารจากรองอธิการบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรมและบริการวิชาการ ก
- กำหนดการประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13 ค
- ผลของความสดของไข่และสมบัติของน้ำเชื่อมต่อคุณลักษณะของฝอยทอง 1
  ชุติมา ทองแก้ว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- สมบัติเคมีกายภาพของแป้งเผือกและการประยุกต์ใช้ในโดนัท 10
  จิตรา สิงห์ทอง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาและทดแทนไขมันเนยด้วยไขมันรูปน้ำมัน/เจล ในการผลิตบิสกิตเพื่อสุขภาพ 19
  ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ความสัมพันธ์ระหว่างยีน Soluble Starch Synthase II a (SSIIa) กับลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกในข้าวพื้นเมืองอุบลราชธานี 29
  ฉันทมาศ เชื้อแก้ว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ผลของอายุใบมะละกอต่อปริมาณสารพฤกษเคมี 36
  ธัญญารัตน์ ชุ่มหมื่นไวย์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ pre-emulsified vegetable oil เพื่อทดแทนไขมันหมูในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูอิมัลชัน 44
  กฤษณา ศิริพล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การศึกษาคุณภาพของขนมจีนจากส่วนผสมของแป้งมันเทศ 50
  วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การผลิตเครื่องดื่มน้ำมะพร้าวเสริมโพรไบโอติก 56
  ฉัตรชยา อ่อนอำไพ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง 64
  อภิญญา เอกพงษ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การศึกษารูปแบบการวางตัวและอันตรกิริยาที่สำคัญของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole ที่เป็นสารยับยั้งเอนไซม์ GyrB ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้ง 72
  ภาพตะวัน ทองดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การกำจัดสีย้อมเมทิลีน บลู โดยใช้จีโอพอลิเมอร์เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง 77
  วรางคณา กิตติวงศ์วิศาล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สารบัญ

หน้า

- แผ่นยางปูพื้นจากยางธรรมชาติและกากกาแฟ 86
  ทักษพร อินทร์มณี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- แผ่นฟิล์มชีวภาพจากเส้นใยสับปะรด 95
  จักราวุธ คงอ่อน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคในอาหารโดยใช้เอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR 110 105
  วรพล สุรพัฒน์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
- การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับค่ากัมมันตภาพทางชีวภาพเชิงสามมิติ และการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้งของสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide เพื่อการยับยั้งเชื้อวัณโรค 111
  อิสราภรณ์ เสียงล้ำ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- อันตรกิริยาที่สำคัญของสารอนุพันธ์ benzofuran ในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ของเชื้อ M. tuberculosis ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง 119
  บัณฑิต คำศรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดข้าวกล้องงอก 126
  สุดาพร นนท์ศิริ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง (วงศ์ Alliaceae) ในการยับยั้งเชื้อราบนเมล็ดข้าวและส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 135
  นุชนาฎ รามณี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ประสิทธิภาพการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาลด้วยวิธีการ เติมอากาศ หมู่บ้านหนามแท่ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 142
  รัชวุฒิ โคตรลาคำ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การประเมินศักย์ระคายเคืองของสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลโดยใช้วิธีทดสอบในเยื่อบุไข่ไก่ฟัก 150
  วิราวนันท์ กนกนิษฐ์หิรัญ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- เจลล้างหน้าจากสารสกัดตรีผลา 156
  ปราณี ศรีราช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
- ฤทธิ์ในการยับยั้งของส่วนสกัดน้ำของเพกา มะขามป้อม มะแว้งต้น ตะไคร้และพลูดาว ต่อการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 จากไมโครโซมของตับหนู 162
  สุทธาสินี สุวรรณกุล คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สารบัญ

หน้า

- พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบบ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด 168
  ปวีณา ลิมปิทีปราการ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี 178
  สุภาณี จันทร์ศิริ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- คุณภาพน้ำบาดาลของครัวเรือนบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี 192
  สิทธิชัย ใจขาน วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การศึกษาลักษณะทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง 200
  วรรณิภา พรเวธน์จินดา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- พฤติกรรมการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ 209
  เตชภณ ทองเติม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
- การศึกษาระดับความดังเสียง การแยกวิเคราะห์ความถี่เสียง และการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น ในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า 219
  กานต์นลินญา บุญที คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโซลตาน โคดาย 227
  จิระพงษ์ ปะกาโส สาขาวิจัยและประเมินผลการศึกษา (แผนวิชาชีพครู) มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง หน่วยของสิ่งมีชีวิต ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนปรือใหญ่บัลลังก์ โดยใช้วัฏจักรสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน 237
  จุลลดา ทำประเสริฐ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- การสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง 246
  ทรงภพ ขุนมธุรส คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ผลการใช้บทเรียนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา 255
  พรรณี แพงทิพย์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- ประกาศมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เรื่อง แต่งตั้งกองบรรณาธิการงานประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13 269

สารบัญ

หน้า

- รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาผลงาน 271

ผลของความสดของไข่และสมบัติของน้ำเชื่อม ต่อคุณลักษณะของฝอยทอง

ชุติมา ทองแก้ว[1*] เกศสุดา สารารัมย์[1] ทิฆัมพร สกุลแก้ว[1] และ อภิญญา เอกพงษ์[1]
[1]สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail: chutima.t@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

ฝอยทองเป็นขนมไทยมงคลชนิดหนึ่งที่ทำมาจากวัตถุดิบเพียงสองชนิดคือไข่แดงและน้ำเชื่อม โดยไข่แดงที่จะนำมาผลิตต้องเป็นไข่สดผสมกับไข่น้ำค้าง (ไข่ขาวที่ติดอยู่กับเปลือกไข่) และถูกโรยลงในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังนั้นอายุของไข่ที่จะใช้และลักษณะของน้ำเชื่อมจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณลักษณะที่ได้ของฝอยทอง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอายุของไข่เป็ดและไข่ไก่และความหนืดของน้ำเชื่อมต่อคุณลักษณะของเส้นฝอยทอง โดยการเก็บรักษาไข่เป็ดและไข่ไก่ทั้งฟองที่อุณหภูมิ 4-8 °ซ เป็นเวลาต่างกันคือ 0, 3, 7 และ 14 วัน จากนั้นนำเฉพาะไข่แดงของไข่ทั้งสองชนิดมาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 แล้ววิเคราะห์ความชื้น ค่าการนำไฟฟ้า ความหนาแน่นและความหนืดโดยวัดจากอัตราการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลวของไข่แต่ละวัน พบว่าการเก็บรักษาไข่ที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 0-7 วัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไข่ แต่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในวันที่ 14 โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ช่วงร้อยละ 48-49 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับค่าการนำไฟฟ้า (2.66-3.47 ms/cm) ความหนาแน่น (1003-1033 kg/m^3) และอัตราการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลว (17-27 m/s) แต่ค่าสีแดง-น้ำเงิน (a*) ของไข่แดงที่มีอายุ 3 วัน จะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวันที่ 0 แล้วลดลงภายหลังวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ส่วนค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง-เขียว (b*) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ซึ่งเมื่อนำไข่สภาวะเหล่านี้มาผลิตฝอยทองจะให้ค่าความแข็งแรง (hardness) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (15.21-15.37 N)

จากนั้นศึกษาความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่เหมาะสมในการผลิตเส้นฝอยทองโดยใช้น้ำเชื่อมเริ่มต้นที่มีความเข้มข้น 40, 50, 60 และ 70 °Brix นำมาให้ความร้อนเป็นเวลาต่างๆเพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเหมาะสมกับการผลิตฝอยทอง พบว่า น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 °Brix ต้องให้ความร้อนเป็นเวลาถึง 20 นาที เพื่อให้มีความหนืดสุดท้าย (0.33 m/s) เหมาะสมต่อการผลิตฝอยทอง ส่วนน้ำเชื่อมความเข้มข้นเริ่มต้น 50-70 °Brix ให้ความร้อนเพียง 10 นาที จะได้ความหนืดที่เหมาะสม (0.27-0.3 m/s) ต่อการผลิตฝอยทอง ดังนั้นอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำเชื่อมก่อนหยอดฝอยทองต้องไม่ต่ำกว่า 96 °ซ และความเข้มข้นของน้ำเชื่อมควรอยู่ในช่วง 54-73 °Brix โดยจะส่งผลโดยตรงต่อค่าสีและความแข็งแรงของเส้นฝอยทอง

คำสำคัญ : ไข่แดง น้ำเชื่อม ความสด ฝอยทอง

Effect of Egg Freshness and Syrup Properties on The Characteristics of Foi Thong

Chutima Thongkaew[1*] Ketsuda Sararum[1] Thikumporn Sakulkaew[1] and Apinya Ekpong[1]
[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University

Abstract

Foi Thong is the one of an auspicious Thai dessert produced from two common components; egg yolk and syrup. In particular, fresh egg yolk must be mixed with outer layer part of egg white before making strings by strewing over a syrup at appropriate concentration and temperature. Therefore, the freshness of egg and also the viscosity of the syrup indicate the characteristics of Foi Thong. The objective of this research is to study the effect of storage time of eggs and the viscosity of syrup on the characteristics of Foy-Thong made from duck and hen stored at 4-10 °C for 0, 3, 7, 14 days. The egg yolk from both species was separated from whole

eggs and mixed at the ratio of 1:1. The mixture of egg yolk was then analyzed for moisture content, conductivity, density and viscosity (measured by evaluation the falling rate of a spherical object in liquid). The results showed that the moisture content of egg yolk mixture with/without outer layer of egg white did not change at the first 7 days of storage (the moisture content ranged from 48-49%), but increased dramatically at day 14. A linear relationship between moisture content and conductivity (2.66-3.47 ms/cm), density (1003-1033 kg/m^3) and falling rate (17-27 m/s) was observed. Increasing storage time from beginning to day 3 resulted in increasing in a^* value, however it decreased after 7 days of storage, whereas, $L^*$and b^* remained relatively constant and then significant increased after 7 days. Nevertheless, no significantly difference in hardness (15.21-15.37 N) of Foi Thong produced from egg yolk at varying storage time was detected.

Moreover, the initial concentrations (40, 50, 60 and 70 °Brix), temperatures and heating times of syrup were studied to obtain appropriate characteristics of Foi Thong. The results demonstrated that initial concentration of syrup at 40°Brix heated up for 20 min to achieve final falling rate as 0.33 m/s was suitable for Foi Thong production. Nevertheless, the syrup concentration at 50-70°Brix took 10 min to reach appropriate viscosity at 0.27-0.3 m/s. Therefore, the final temperature and concentration of syrup did appear to have an impact on color and hardness of Foi Thong with the optimum conditions at 96°C and 54-73°Brix, respectively.

Keywords : Egg yolk, Syrup, Freshness, Foi Thong

บทนำ

ฝอยทองเป็นหนึ่งในขนมมงคลของไทย เนื่องจากมีคำว่า ”ทอง” และมีลักษณะเป็นเส้นยาว โดยมีต้นกำเนิดมาจากประเทศโปรตุเกส ฝอยทองผลิตได้โดยการนำไข่แดงผสมกับไข่น้ำค้าง (ไข่ขาวชั้นนอกที่อยู่ติดกับเปลือกไข่) แล้วโรยให้เป็นเส้นในน้ำเชื่อมที่มีลักษณะเดือดเป็นฟองใหญ่ตรงกลางกระทะ ดังนั้นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตฝอยทองหลักๆ คือ ไข่แดงและน้ำเชื่อม โดยทั่วไปแล้วสามารถใช้ไข่แดงของไข่เป็ดหรือไข่ไก่ หรือไข่แดงผสมระหว่างไข่ทั้งสองชนิดนี้ก็ได้ แต่ทั้งนี้จะให้ลักษณะด้านสี เนื้อสัมผัสและรสชาติที่แตกต่างกัน ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมและอุณหภูมิของน้ำเชื่อมก่อนหยอดเส้นฝอยทองเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะฝอยทองที่ได้ สำหรับไข่มีสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ คือ ความสามารถในการเก็บกักอากาศ ช่วยเพิ่มความข้นหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์และช่วยยึดเกาะเครื่องปรุง เป็นต้น (ศิริลักษณ์, 2533) โดยไข่แดงและไข่ขาวจะมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ต่างกัน คือ ไข่ขาวเก็บอากาศได้ดีจากการตีให้ฟู ส่วนไข่แดงทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้ไขมันรวมตัวกับน้ำหรือของเหลวในส่วนผสมได้ ในสมัยก่อนนิยมใช้ไข่เป็ดมาทำฝอยทองเนื่องจากคนไม่นิยมเลี้ยงไก่ แต่ในปัจจุบันสามารถนำมาใช้ทำได้ทั้งไข่เป็ดและไข่ไก่ โดยมีความเชื่อว่าจำเป็นต้องใช้ไข่ที่มีความสดมากคือ อายุไม่เกิน 2-3 วัน เท่านั้นถึงจะสามารถผลิตฝอยทองที่มีคุณภาพดีได้ นอกจากคุณภาพไข่แล้วอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญคือ ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม ซึ่งอาจมีผลต่อการขึ้นรูปของฝอยทอง โดยน้ำเชื่อมเตรียมจากน้ำตาลทรายนำมาละลายน้ำ น้ำตาลมีคุณสมบัติเป็นสารที่มีขั้ว (polar) เพราะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล จึงสามารถละลายน้ำได้โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของน้ำ ทำให้โมเลกุลของน้ำตาลที่มีน้ำมาล้อมรอบอยู่ค่อยๆหลุดออกจากผิวของผลึกทีละชั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำตาลจะละลายได้มากขึ้น เพราะการให้ความร้อนส่งผลให้น้ำที่จับกันอยู่ด้วยพันธะไฮโดรเจนแยกออกจากกัน และมีพลังงานมากพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำตาล (ณัฐรัตน์, 2555) การละลายของน้ำตาลมีผลทำให้จุดเดือดของน้ำเชื่อมสูงขึ้น ดังนั้นจุดเดือดที่สูงขึ้นของน้ำเชื่อมจึงสามารถใช้เป็นตัววัดความความเข้มข้นของน้ำเชื่อมได้ (ณรงค์ และอัญชนีย์, 2528) และเมื่อความเข้มข้นของน้ำเชื่อมสูงขึ้นจะสามารถดึงน้ำอิสระที่มีอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบในอาหารออกมาได้ และมีผลทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้นแล้วเกิดการจับตัวเป็นก้อนอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อลักษณะต่างๆ เช่น ความเหนียว การยึดเกาะและมีการสูญเสียน้ำ เป็นต้น โดยความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่แตกต่างกันก็จะส่งผลที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะที่กล่าวมา

งานวิจัยนี้จึงมีสมมติฐานว่าความสดหรืออายุของไข่และความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่เหมาะสมจะทำให้ได้คุณลักษณะที่ดีของเส้นฝอยทอง คือมีความเหนียวนุ่มและขึ้นรูปได้

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

ไข่ไก่จากภาวินีย์ฟาร์ม และไข่เป็ดจากนับทองฟาร์ม จังหวัดอุบลราชธานี หลังการเก็บเกี่ยวมาเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 3, 7 และ 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4-10 °ซ จากนั้นนำมาแยกเป็น 3 ตัวอย่างคือ ไข่แดงของไข่เป็ดและไข่ไก่มาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 (ไข่แดงผสม) ไข่แดงผสมเติมไข่น้ำค้างร้อยละ 25 ของน้ำหนักไข่แดงทั้งหมด (ไข่แดงผสม+ไข่น้ำค้าง) และไข่น้ำค้าง

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของไข่ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่างจากข้อ 1 นำมาวิเคราะห์ *ปริมาณความชื้น* (moisture content) ตามวิธีการของ AOAC (2000), *ค่าสี* ด้วยระบบ CIE Lab (L*, a*, b*) ด้วยเครื่องวัดสี chroma meter, *ความหนาแน่น* (ดัดแปลงจาก Prakongpan *et al*., 2002), *ค่าการนำไฟฟ้า* โดยใช้เครื่อง conductivity meter, และ*อัตราเร็วในการตกของวัตถุทรงกลมในของเหลว* (บ่งบอกความหนืดของตัวอย่าง) โดยการจับเวลาที่วัตถุทรงกลมใช้เคลื่อนที่จริง (t) ในของเหลวที่ต้องการวัด ต่อระยะทางที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ (S) แล้วคำนวณเป็นอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ (*V*) จากสูตร $V = \frac{S}{t}$ (ดัดแปลงจาก Stokes' Law)

3. ศึกษาผลของความสดของไข่ต่อคุณลักษณะของฝอยทอง

นำไข่จากข้อ 1 (ไข่แดงผสมไข่น้ำค้าง) มาผลิตฝอยทองในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 60 °Brix ด้วยเครื่อง hand refractometer และมีอุณหภูมิ 90-100 °C แล้ววิเคราะห์ค่าสี, ความแข็งแรงของเส้นฝอยทองโดยอาศัยแรงตัด ด้วยเครื่อง texture analyser (LLOYD model LRSK series) โดยใช้หัว warner bratzler shear และ load cell 50 N วัดค่าการตัด (maximum load)

4. ศึกษาผลของสมบัติของน้ำเชื่อมต่อคุณลักษณะของฝอยทอง

เตรียมน้ำเชื่อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 4 ระดับ คือ 40 50 60 และ 70 °Brix แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 50 75 90 และ 105 °ซ แล้วนำไปตรวจสอบค่าอัตราเร็วในการตกของวัตถุทรงกลมในของเหลวและความหนาแน่น จากนั้นนำน้ำเชื่อมมาผลิตฝอยทองจากไข่แดงผสมไข่น้ำค้างแล้วตรวจสอบค่าสี (ตามข้อ 2) และความแข็งแรงของเส้นฝอยทองโดยอาศัยแรงตัด (ตามข้อ 3)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้ว นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของทรีตเมนต์โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistic Package for the Social Science (SPSS) version 19

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของไข่

ไข่เป็ดและไข่ไก่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-10 °ซ เป็นเวลา 0, 3, 7 และ 14 วัน แล้วนำไข่แดงมาผสมกันจากนั้นนำมาวิเคราะห์ ความชื้น (Moisture content; MC) การนำไฟฟ้า (Conductivity; C) ความหนาแน่น (Density; D) และค่าอัตราเร็วในการตกของวัตถุทรงกลมในของเหลว (Velocity of object in liquid; V) ผลแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไข่เพิ่มขึ้นความชื้นในไข่แดงผสมและไข่แดงผสมไข่น้ำค้างจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาไข่ที่อุณหภูมิต่ำ (4-10 °ซ) ทำให้มีพลังงานความร้อนที่ไม่เพียงพอที่จะทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นทำให้โมเลกุลของน้ำไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกภายนอกเปลือกไข่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นในไข่เพียงเล็กน้อย (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2558) แต่ค่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า ความหนาแน่น และอัตราการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลว ของไข่ หากน้ำในตัวอย่างมีปริมาณมากจะทำให้เกิดแรงต้านทานมากส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามากด้วย (Yang et al., 2015) หากเก็บรักษาไข่นานขึ้นความสามารถที่น้ำจะเข้าไปในไข่จะมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากในไข่จะมีปริมาณ

ความชื้นร้อยละ 80 แต่ที่อุณหภูมิตู้เย็นจะมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 (Gavril and Usturoi, 2012) น้ำจึงอาจเกิดการแพร่จากภายนอกซึ่งมีน้ำมากกว่าไปยังภายในไข่ที่มีน้ำน้อยกว่าทำให้ปริมาตรของไข่เพิ่มขึ้น (Chung and Lee, 2014) แต่มวลของไข่ยังคงที่ ทำให้น้ำเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของโปรตีนจึงทำให้โมเลกุลของโปรตีนจับกันแบบหลวมๆ (นิธิยา, 2545) จึงทำให้ความหนาแน่นลดลง แต่จากการทดลองนี้ค่าความหนาแน่นของไข่แดงผสม และไข่แดงผสมไข่น้ำค้าง ที่เก็บรักษาวันที่ 0-7 มีค่าไม่แตกต่างกันและมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และเมื่อปริมาณความชื้นสูงส่งผลให้อัตราเร็วในการตกของวัตถุทรงกลมในของเหลวมีค่าสูงซึ่งบ่งบอกว่ามีค่าความหนืดต่ำ เพราะของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของไหลนั้นต่ำ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้เร็วซึ่งหมายถึงมีค่าความหนืดต่ำ (หทัยชนก, 2555) ค่าอัตราเร็วในการตกของวัตถุทรงกลมในของเหลวของไข่แดงผสมและของไข่ผสมไข่น้ำค้างเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น บ่งบอกว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในไข่มากขึ้นส่งผลให้ความหนืดในไข่ลดลง หรือไข่มีลักษณะเหลวขึ้นนั้นเอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของไข่ในระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 2 โดยค่า L* ซึ่งแสดงค่าความสว่างของไข่ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0, 3 และ 7 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นหรือน้ำที่กล่าวมาข้างต้นไม่มีความแตกต่างกันในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา โดยน้ำจะมีผลต่อการตกกระทบของแสงที่ส่องผ่านมายังวัตถุ ถ้าปริมาณน้ำในวัตถุสูงแสงจะตกกระทบมายังวัตถุมากทำให้วัตถุมีความสว่างมาก (Kinsell, 1983) ส่วนค่า a* ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว นั้น พบว่า ไข่แดงผสมและไข่แดงผสมไข่น้ำค้างจะมีค่า a* ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไข่แดงผสมที่เก็บรักษาในวันที่ 3 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วจะลดลงในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาแล้วจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 14 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเก็บไข่ไว้ในอุณหภูมิต่ำ 4-10 °ซ และมีความชื้นค่อนข้างสูงอาจจะทำให้เกิดการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้ pH ของไข่แดงค่อยๆเพิ่มจาก 6 เป็น 6.4-6.9 ใน 3 วันแรกของการเก็บรักษา และจะค่อยๆลดลงหลังจากนั้น (สุวรรณ, 2529) ค่าเพิ่มขึ้นของ pH ส่งผลให้ความเข้มของแซนโทฟิล (xanthophyll) ในไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (อัจฉรา และ มงคล, 2556) ทำให้ค่า a* เพิ่มขึ้น และเมื่อ pH ลดลงเนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงทำให้ความเข้มของแซนโทฟิล (xanthophyll) มีแนวโน้มลดลง (อัจฉรา และ มงคล, 2556) ส่วนค่า b* : ซึ่งแสดงความเป็นสีเหลือง- น้ำเงิน ของไข่แดงผสมและไข่แดงผสมไข่น้ำค้างพบว่า มีค่าค่อนข้างสูง (~ 52-67) ซึ่งบ่งบอกว่าไข่แดงผสมมีสีเหลือง และมีค่าค่อนข้างคงที่ในระยะเวลาการเก็บไม่เกิน 7 วัน

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้น (MC) ค่าการนำไฟฟ้า (C) ความหนาแน่น (D) และอัตราเร็วในการตกของวัตถุทรงกลมในของเหลว (V) ในไข่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-10 °ซ เป็นเวลา 0, 3, 7 และ 14 วัน

ประเภทไข่	วันที่เก็บรักษา (วัน)	MC (%)	C (µs/cm)	D (kg/m^3)	V (m/s)
ไข่แดงผสม	0	48.18±0.34^{a}	2.66±0.01^{a}	1011.80±0.45^{b}	0.17±0.01^{a}
	3	48.63±0.75^{a}	2.69±0.01^{a}	1011.00±2.34^{b}	0.19±0.01^{a}
	7	49.42±0.50^{a}	2.74±0.01^{a}	1009.40±2.34^{b}	0.21±0.01^{a}
	14	55.88±0.39^{b}	2.76±0.01^{a}	1004.30±0.75^{a}	0.22±0.00^{a}
ไข่แดงผสม + ไข่น้ำค้าง	0	56.24±0.33^{a}	3.37±0.01^{a}	1051.00±2.24^{b}	0.25±0.01^{a}
	3	57.49±0.63^{a}	3.43±0.01^{b}	1047.00±5.48^{a}	0.26±0.01^{a}
	7	56.41±0.86^{a}	3.46±0.01^{b}	1041.00±4.97^{a}	0.28±0.01^{a}
	14	61.14±0.69^{b}	3.60±0.01^{c}	1037.12±2.07^{a}	0.34±0.02^{b}

หมายเหตุ : $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งมีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

ตารางที่ 2 ค่าสีของไข่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-10 °ซ เป็นเวลา 0, 3, 7 และ 14 วัน

ประเภทไข่	วันที่เก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
ไข่แดงผสม	0	48.70±0.32[a]	26.86±1.19[a]	60.10±0.59[a]
	3	48.04±0.51[a]	29.43±0.54[b]	61.87±0.40[a]
	7	48.12±0.80[a]	25.50±1.32[a]	58.23±0.57[a]
	14	51.37±0.50[b]	32.75±0.15[c]	67.83±0.45[b]
ไข่แดงผสม + ไข่น้ำค้าง	0	53.41±0.49[a]	26.72±0.60[a]	55.47±0.71[a]
	3	54.64±0.57[a]	26.85±0.84[a]	56.47±1.28[a]
	7	53.07±0.33[a]	23.28±0.40[a]	52.93±0.43[a]
	14	56.39±0.28[b]	30.87±0.23[b]	64.31±0.31[b]

หมายเหตุ : [a-c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งมีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

***2.* คุณลักษณะของฝอยทองที่ผลิตจากไข่ที่มีอายุการเก็บรักษาต่างกัน**

เมื่อนำไข่แดงผสมไข่น้ำค้างจากไข่ที่มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 3, 7 และ 14 วัน มาผลิตฝอยทองโดยใช้น้ำเชื่อมความเข้มข้น 60 °Brix ให้ความร้อนที่อุณหภูมิช่วง 90-100 °ซ พบว่าฝอยทองที่ผลิตจากไข่ที่มีอายุการเก็บรักษาต่างกันจะให้คุณลักษณะที่สังเกตด้วยตาไม่แตกต่างกัน (ไม่ได้แสดงผล) คือมีลักษณะเป็นเส้นยาวจัดเรียงตัวเป็นแพและมีสีเหลืองทอง เมื่อนำมาวัดความแข็งแรงโดยใช้แรงตัดขาด พบว่าฝอยทองที่ผลิตจากไข่ที่เก็บรักษาต่างกัน มีค่าความแข็งแรงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) อาจเนื่องจากปริมาณความชื้นในไข่แดงไม่มีความแตกต่างกันส่งผลให้ความเข้มข้นของโปรตีนในไข่ไม่แตกต่างกัน การขึ้นรูปเป็นเส้นของฝอยทองเกิดได้เนื่องจากไข่แดงเมื่อนำมาให้ความร้อน (เช่นการหยอดลงในน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิสูง) ไลโปโปรตีนในไข่แดงที่มีความหนาแน่นต่ำจะเกิดการสูญสภาพธรรมชาติแล้วจับตัวเป็นก้อนหรือเจล (Powrie et al., 1963) เช่นเดียวกับไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูงเมื่อสูญเสียสภาพธรรมชาติเนื่องจากความร้อนจะทำให้เกิดการเรียงตัวของสายโพลิเปปไทด์ (polypeptide chain) ที่เป็นระเบียบมากขึ้น (Shimada and Matsushita, 1981) ซึ่งการเกิดการขดเป็นเกลียว เรียงตัวซ้อนกัน เป็นก้อน (secondary, tertiary หรือ quartenary structure) ด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิค และพันธะไอออนิค (Shimada and Matsushita, 1981) ทำให้เกิดการเชื่อมข้าม (cross-link) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน หากไข่แดงมีความหนืดมากจะไม่สามารถผ่านออกจากกรวยได้ดังนั้นหากไข่มีความชื้นหรือปริมาณเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะมาจากการเติมไข่น้ำค้างหรือการใช้ไข่ที่มีอายุการเก็บรักษานานจะช่วยลดความเข้มข้นของไข่แดงทำให้ความหนืดของไข่แดงลดลง ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไข่แดงมีความสามารถในการจับกันได้น้อยลง เนื่องจากมีน้ำเข้ามาแทรกระหว่างโปรตีนไข่แดง ทำให้โมเลกุลของโปรตีนจับกันแบบหลวมๆ เมื่อโรยไข่ในน้ำเชื่อมจะทำให้ได้ฝอยทองที่มีลักษณะเป็นเส้นเรียบสม่ำเสมอ เหนียวและไม่ขาดง่าย (วัชรีพันธ์, 2524) เมื่อนำฝอยทองมาวัดค่าสี พบว่า ไข่ที่มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 จนถึงวันที่ 14 จะมีค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากหลักการที่ว่าเมื่อหยอดไข่ลงในน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิสูง โปรตีนไข่แดงเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติเนื่องจากความร้อนแล้วเกิดการจับตัวกันแน่นและมีโครงสร้างที่แข็งแรง น้ำที่อยู่ในโมเลกุลโปรตีนมีปริมาณน้อยเนื่องจากโปรตีนจับกันเองและผลักน้ำออกจากโครงสร้างและออกมาอยู่ข้างนอกจะทำให้เกิดการสะท้อนแสงในลักษณะกระจายไปทุกทิศทุกทาง (Kinsell, 1983) ดังนั้นไข่ที่เก็บเป็นเวลานานกว่ามีปริมาณน้ำภายในไข่มากกว่าเมื่อนำมาผลิตฝอยทองซึ่งเป็นการทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติจึงมีโอกาสที่จะเกิดการกระเจิงแสงมากกว่าฝอยทองที่ผลิตจากไข่ที่อายุการเก็บไม่นาน นอกจากนั้นการแข็งตัวจนเป็นเจลของโปรตีนในไข่แดงจะทำให้เกิดลักษณะขุ่นขึ้น (Shimada and Matsushita, 1981) ส่วนค่า a* ของฝอยทองที่ผลิตจากไข่ที่เก็บรักษาวันที่ 0, 3 และ 7 วัน นั้นมีแนวโน้มลดลงและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่จะเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา เนื่องจากในไข่แดงมีไลโอโครมหนึ่งชนิดที่ละลายน้ำได้ คือ โอโวเฟลวิน ซึ่งให้สีเหลืองส้มเมื่อถูกแสงหรือความร้อนจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมเหลือง (สุวรรณ, 2529) ตามทฤษฎีเมื่อเก็บรักษาไข่ไว้นานขึ้นปริมาณความชื้นหรือน้ำจากไข่ขาวจะแพร่เข้าไปในไข่แดงทำให้ปริมาณน้ำในไข่แดงเพิ่มขึ้นและเข้าไปเจือจางโอโวเฟลวินซึ่งละลายน้ำได้ จึง

ทำให้สีแดงของฝอยทองลดลงได้ (ศิริลักษณ์, 2533) ส่วนค่า b* ของฝอยทองที่ผลิตจากไข่ที่เก็บรักษาวันที่ 0, 3, 7 และ 14 วัน มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ จากทฤษฎีที่ว่าในไข่แดงจะมีรงควัตถุคือ แซนโทฟิลล์ (Xanthophylls) ลูทีน (Lutein) และซีแซนทีน (Zexanthin) ซึ่งทำให้ไข่แดงมีสีเหลืองส้ม โดยรงควัตถุเหล่านี้จะคงตัวภายใต้สภาวะปกติแต่จะเปลี่ยนสีได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน โดยจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวดำ (Stadelman and Cotterill, 1995) เนื่องจากรงควัตถุเหล่านี้โดยปกติจะจับอยู่กับโปรตีนและมีโครงสร้างเป็น *cis* เมื่อได้รับความร้อนหรือแสงโครงสร้างจะเกิด isomerization กลายเป็น all-*trans* ซึ่งจะมีผลต่อการจับกับโปรตีนและหลุดออกไปอยู่ในชั้นลิปิด ซึ่งการที่ไอโซเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงมีผลต่อการดูดกลืนแสงของแซนโทฟิลล์ (Milanowska and Gruszecki, 2005) ซึ่งอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของฝอยทอง สมมติฐานอีกอย่างคือในระหว่างการเก็บรักษาไข่จะมีการเปลี่ยนแปลง pH (ผลไม่แสดง) คือ pH จะเพิ่มขึ้นในช่วง 3 แรกของการเก็บรักษาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจะลดลงในวันที่ 7 เนื่องจากสลายตัวของกรดไขมันอย่างช้าๆทำให้เกิดความเป็นกรดเพิ่มขึ้นรวมถึงการสลายตัวของโปรตีนทำให้เกิดกรดอะมิโนและแอมโมเนียเพิ่มขึ้นดังนั้นการเปลี่ยนแปลง pH ดังกล่าวอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ โอวัลบูมิน (ovalbumin) คือจะเปลี่ยนไปเป็นเอส-โอวัลบูมิน (S-ovalbumin) โดยมีการเปลี่ยนแปลงของพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ในโครงสร้างของโอวัลบูมิน แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถย้อนกลับได้และส่งผลต่อเนื่องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในไข่และเมื่อไข่ได้รับความร้อนสูงในน้ำเชื่อมก็ยิ่งเร่งให้เกิดเปลี่ยนแปลงสีของไข่ได้รวดเร็วและชัดเจนขึ้น (ศิริลักษณ์, 2533) จึงทำให้ b* มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งแรงและสีของฝอยทองที่ผลิตจากไข่แดงผสมไข่น้ำค้างที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0, 3, 7 และ 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4-10 °ซ

วันที่เก็บรักษา(วัน)	แรงตัด (N)	ค่าสี L*	a*	b*
0	15.37±1.73^{a}	52.69±0.99^{a}	21.64±0.17^{c}	57.12±0.57^{b}
3	15.33±1.15^{a}	55.11±1.49^{b}	19.76±0.34^{b}	54.74±1.20^{a}
7	15.21±0.78^{a}	56.32±0.88^{b}	16.90±0.91^{a}	57.12±1.84^{b}
14	15.74±0.95^{a}	58.84±0.49^{c}	26.69±0.47^{d}	54.49±0.53^{a}

หมายเหตุ : $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$)

3. สภาวะที่เหมาะสมของน้ำเชื่อมที่ใช้ในการผลิตฝอยทอง

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของน้ำเชื่อมที่ใช้ในการผลิตฝอยทอง จึงใช้ไข่แดงผสมไข่น้ำค้าง (อายุการเก็บรักษา 3 วัน) มาทดสอบในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40-70 °Brix เพื่อที่จะบอกการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำเชื่อมจากความเข้มข้นเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน และอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำเชื่อมก่อนหยอดฝอยทอง ผลปรากฏว่า น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 °Brix จะต้องให้ความร้อนในระดับไฟปานกลางเป็นเวลาถึง 20 นาที จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำเชื่อมอยู่ที่ 54 °Brix ที่อุณหภูมิ 96.8 °ซ ส่วนน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นตั้งแต่ 50 °Brix เป็นต้นไป จะใช้เวลาในการให้ความร้อนในระดับไฟปานกลางเป็นเวลา 10 นาที จะได้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 54-73 °Brix ที่อุณหภูมิ 96-101 °ซ (ตารางที่ 4) และน้ำเชื่อมมีความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้น น้ำเชื่อมความเข้มข้นเริ่มต้น 40 °Brix มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลต่ำจะเกิดปรากฏการณ์แพร่ของโมเลกุลของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำสูงนั่นคือในเส้นโปรตีนไข่ (สารละลายความเข้มข้นต่ำ) ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำน้อยหรือในสารละลายน้ำตาล (สารละลายความเข้มข้นสูง) กระบวนการนี้จะเกิดจนกว่าความเข้มข้นของน้ำจะเท่ากัน เป็นกระบวนการทางกายภาพที่ตัวทำละลายจะเคลื่อนที่โดยอาศัยพลังงานความร้อน (Haynie, 2001) เมื่อหยอดไข่ที่มีความเข้มข้นของน้ำสูงกว่าในน้ำเชื่อม ทำให้โมเลกุลของน้ำจากเส้นโปรตีนไข่ออกไปยังน้ำเชื่อม มีผลทำให้เส้นฝอยทองมีลักษณะแบนไม่จับกันเป็นเส้นเพราะน้ำจะเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลโปรตีนทำให้โมเลกุลโปรตีนจับกันแบบหลวมๆและไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นฝอยทองได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มเวลาให้ความร้อนแก่น้ำเชื่อมความเข้มข้นต่ำ

(40 °Brix) มากขึ้นเพื่อให้น้ำในน้ำเชื่อมระเหยออกไปจนได้ความเข้มข้นน้ำเชื่อมที่เหมาะสมในการผลิตฝอยทอง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมสุดท้ายก่อนหยอดเส้นฝอยทองไม่ควรต่ำกว่า 54 °Brix ไม่ว่าจะใช้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่าไรก็ต้องให้ความร้อนจนกระทั่งได้ความเข้มข้นน้ำเชื่อมสุดท้ายเท่ากับที่กล่าวมาถึงจะสามารถขึ้นรูปเส้นฝอยทองให้เป็นเส้นได้ จากนั้นนำเส้นฝอยทองที่ได้ไปวิเคราะห์ความแข็งแรงของเส้น (ตารางที่ 5) พบว่า ฝอยทองที่ผลิตจากน้ำเชื่อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกันจะให้ค่าความแข็งของเส้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฝอยทองที่ผลิตในน้ำเชื่อมเข้มข้น 70 °Brix จะมีค่าความแข็งแรงสูงที่สุดคือ 17.73 N และลดลงตามลำดับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้น สามารถอธิบายได้ว่าในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะมีอัตราในการดึงน้ำออกจากโปรตีนเร็วกว่า (แพร่เร็วกว่า) และเนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่าจึงเกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนได้เร็วกว่าในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นต่ำ ดังนั้นการจัดเรียงตัวของโมเลกุลโปรตีนจับกันแน่นมากและไม่เป็นระเบียบ (ศิริลักษณ์, 2533) จึงทำให้เส้นโปรตีนมีลักษณะแข็งแต่ไม่ยืดหยุ่น

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของน้ำเชื่อมที่ใช้ในการผลิตฝอยทอง

ความเข้มข้นน้ำเชื่อมเริ่มต้น (°Brix)	ความเข้มข้นน้ำเชื่อมหลังให้ความร้อน (°Brix)	เวลาที่ให้ความร้อน (min)	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำเชื่อม (°ซ)	อัตราเร็วในการตกของวัตถุทรงกลม (m/s)
40	54.4	20	96.8	0.33
50	55	10	97.4	0.30
60	63	10	98.8	0.29
70	73	10	101.3	0.27

เมื่อนำฝอยทองที่ผลิตได้มาตรวจวัดค่าสี (ตารางที่ 5) พบว่า ค่า L* ของฝอยทองที่ผลิตจากน้ำเชื่อมความเข้มข้นต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลทรายขาวที่ใช้ผลิตฝอยทองจัดเป็นน้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดที่ไม่มีหมู่รีดิวซ์ (non-reducing group) และเป็นไดแซกคาไรด์ (di- saccharide) เมื่อได้รับความร้อนจะสามารถแตกตัวเป็นกลูโคสและฟรุกโตสได้ ซึ่งน้ำตาลสองชนิดนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) กับโปรตีนในไข่ได้สารสีเข้ม (ณัฐรัตน์, 2555) อีกเหตุผลหนึ่งคือ การที่น้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นสูงได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization) ได้สารสีเข้มเช่นกันดังนั้นความเข้มข้นของน้ำเชื่อมสูงจึงมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลไลเซชันได้สูงกว่าน้ำเชื่อมความเข้มข้นต่ำ จึงส่งผลให้ค่า L* และ a* ของฝอยทองมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นสูงขึ้นค่าความเป็นสีเหลืองของฝอยทองจะลดลง (b*) เป็นผลมาจากแซนโทฟิลในไข่แดง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวให้สีเขียวดำ (สุวรรณ, 2529) และน้ำเชื่อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงจะสามารถทำให้แซนโทฟิลในไข่แดงสลายตัวได้เร็วเพราะมีจุดเดือดสูงกว่าน้ำเชื่อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำ (ศิริลักษณ์, 2533)

ตารางที่ 5 ค่าสีและความแข็งแรงของเส้นฝอยทองที่ผลิตจากไข่แดงผสมไข่น้ำค้างและน้ำเชื่อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

ความเข้มข้นน้ำเชื่อม (°Brix)	L*	a*	b*	ค่าแรงตัด (N)
40	57.15 ± 0.65^{c}	19.12 ± 0.50^{b}	51.43 ± 0.83^{b}	11.60 ± 0.75^{a}
50	55.68 ± 0.70^{b}	18.75 ± 0.70^{b}	52.27 ± 0.63^{b}	12.17 ± 0.52^{a}
60	52.69 ± 0.99^{a}	16.90 ± 0.91^{a}	47.12 ± 1.84^{a}	14.83 ± 1.67^{b}
70	52.92 ± 0.97^{a}	16.61 ± 0.98^{a}	47.09 ± 0.58^{a}	17.73 ± 3.83^{c}

หมายเหตุ : $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งมีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากไข่เป็ดและไข่ไก่ที่มีอายุการเก็บรักษาต่างกัน (0-7 วัน) ที่อุณหภูมิต่ำ มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้า ความหนาแน่น การเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของเหลว (ความหนืด) มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำไข่มาผลิตเป็นฝอยทอง จึงทำให้ได้ลักษณะของเส้นฝอยทองที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งด้านสีและความแข็งแรงของเส้น ส่วนความเข้ม ข้นของน้ำเชื่อมเริ่มต้นที่ต่างกัน เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันจะส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำเชื่อมและมีผลต่อคุณลักษณะของฝอยทอง โดยน้ำเชื่อมความเข้มข้นสุดท้ายที่เหมาะสมสำหรับหยอดเส้นฝอยทองคือ ตั้งแต่ 54-73 °Brix ซึ่งจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 62-78 °ซ (ไม่แสดงผล) และหากใช้ความเข้มข้นน้ำเชื่อมเริ่มต้นสูงจะมีผลทำให้เส้นฝอยทองที่ได้มีลักษณะแข็งแต่หากใช้น้ำเชื่อมเริ่มต้นมีความเข้มข้นต่ำเกินไปจะไม่สามารถขึ้นรูปฝอยทองให้เป็นเส้นได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผู้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

ณัฐรัตน์ ศรีสังวาลย์. 2555. **การปรับปรุงคุณค่าโภชนาการของขนมอาลัวและฝอยทองโดยการใช้สารทดแทนความหวานแทนน้ำตาล**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528. วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

วัชรีพันธ์ พิศนาคะ. 2524. **ตำรากับข้าวคาวหวาน 700 ชนิด**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมเจริญกิจ, กรุงเทพฯ. 295 หน้า.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2529. **ไข่และเนื้อไก่**. พิมพ์ครั้งที่ 2**.** โรงพิมพ์อมรการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 382 หน้า.

ศิริลักษณ์ เชาวน์ชำนาญ. 2533. **ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บฝอยทอง.** วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. กรุงเทพฯ.

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. 2558. **ความดันไอน้ำ.** แหล่งที่มา: http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/vapor-pressure, 22 มิถุนายน 2558.

หทัยชนก เพ็ชรมาตศรี. 2555. **เทคนิคการวัดความหนืดโดยอาศัยการตกของวัตถุทรงกลม**. ปริญญานิพนธ์. สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ. นครนายก.

อัจฉรา นิยมเดชา และ มงคล คงเสน. 2556. **เมทาบอลิซึมและคุณประโยชน์ของแคโรทีนอยด์ในการเพิ่มความเข้มสีไข่แดง**. Princess of Naradhiwas University Journal. 112-121

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.

Chung, S. H., and Lee. K. W. 2014. Effect of hen Age, storage Duration temperature on egg quality in Laying Hens. **International Journal of Poultry Science**. 11: 634-636.

Gavril, R., and Usturoi, M.G. 2012. Effect of storage time and temperature on hen egg quality. **Lucrări Ştiinţifice - Seria Zootehnie**. 57: 221-229.

Haynie, D. L. 2001. Delinquent peers revisited: Does network structure matter? American Journal of Sociology. 106: 1013-1057.

Kinsella, J. E. 1983. Functional properties of food protein: thermal modification involving denaturation and gelation. **Food and Nutrition**. 5: 226-246.

Milanowski, J., and Gruszecki, W. I. 2005. Heat-induced and light-induced isomerization of the xanthophyll pigment zeaxanthin. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 80: 178-186.

Prakongpan, T., A. Nitithamyong & P. Luangpituksa. 2002. Extraction and application of dietary fiber and cellulose frome pineapple cores. Journal of Food Science. 67: 1308-1313.

Powrie, W. D., Little, H. and Lopez, A. 1963. Gelation of egg yolk. **Journal of food Science**. 28(1): 38-45.

Shimada, K. and Matsushita, S. 1981. Effect of salt and thermo coagulation of protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 29: 15-20.

Stadelman, W. J. and Cotterill, O. J. 1995. Egg Science and Technology. 4th ed. **Food Produce Press, New York**.

Yang, N., jin, Y., Wang, H., Duan, X., Xu, B., Jin, Z., and Xu, X. 2015. Evaluation of conductivity and moisture content of eggs during storage by using transformer method. **Journal of Food Engineering.** 155: 45–52.

สมบัติเคมีกายภาพของแป้งเผือกและการประยุกต์ใช้ในการผลิตโดนัท

จิตรา สิงห์ทอง
สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail: jittra.w@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือกและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โดนัท พบว่าแป้งเผือกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 81.10 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.26 ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.86 และมีปริมาณไขมันเพียงร้อยละ 0.4 สำหรับสมบัติด้านความหนืดของแป้งเผือก พบว่าแป้งเผือกมีค่า Peak viscosity ไม่แตกต่างจากแป้งสาลีทุกชนิด (แป้งขนมปัง แป้งอเนกประสงค์ แป้งเค้ก) ค่า Break down มีค่าไม่แตกต่างจากแป้งสาลีเอนกประสงค์แต่มีค่าสูงกว่าแป้งเค้กและแป้งขนมปัง ส่วนค่า Set back มีค่าต่ำกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด สำหรับค่าการดูดซับน้ำและการละลายของแป้งเผือกมีค่าสูงกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำแป้งเผือกไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โดนัท โดยการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กบางส่วนร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเผือกเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อและการเกาะตัวกันของโดนัทเพิ่มขึ้น การยอมรับของผู้บริโภคพบว่าความชอบด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) แต่ตัวอย่างที่ใช้แป้งเผือกทดแทนที่ร้อยละ 20-100 จะมีความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

คำสำคัญ : แป้งเผือก สมบัติทางเคมีกายภาพ โดนัท

Jittra Singthong
Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University
*E-mail: jittra.w@ubu.ac.th

Abstract

The purpose of this research was to characterized physicochemical properties of taro flour and its application in doughnut. Taro flour was high carbohydrate (81.1%), protein (6.26%), ash (3.86%) and fat (0.4%) contents. Pasting properties were measured that peak viscosity of taro and wheat flours (bread, all purpose and cake flour) were not significant (p>0.05) while break down and set back were significant (p≤0.05). Water absorption and solubility of taro flour was higher than wheat flours. Therefore, taro flour was used to substitute wheat flour (0, 20, 40, 60, 80 and 100%) and other ingredients were kept constant for all formulae. The increase in taro flour resulted in an increase in hardness and cohesiveness. The results from sensory evaluation showed that the liking scores in flavor and overall acceptable attributes similar as the control (p>0.05). While adding taro flour 20-100% showed the liking scores in textural attributes higher than the control (p≤0.05).

Keywords : Taro flour, Physicochemical properties, Doughnut

บทนำ

เผือก (Dasheen, Eddoe, Taro) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Colocasia esculenta* (L.) Schott แต่ละท้องถิ่นจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกัน เช่น บอนท่า บอนน้ำ (ภาคใต้) บอนเขียว บอนจีนดำ (ภาคกลาง) เผือกเป็นพืชหัวที่มีลำต้นใต้ดินสะสมอาหารซึ่งเรียกว่า หัว ใบมีรูปร่างคล้ายหูช้างหรือคล้ายหัวใจ ขนาดใบกว้างประมาณ 25-30 เซนติเมตร ยาว 35-45 เซนติเมตร ดอกจะมีลักษณะเป็นดอกช่อ มีสีขาวครีมและสีเหลืองอ่อน แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนของผล จะมีขนเล็ก โดยมีลักษณะเป็นผลเล็ก ๆ เกาะกลุ่มอยู่ในก้านดอกเดียวกัน ผลมีสีเขียวเปลือกบาง เนื้อผลอวบน้ำ เมื่อแก่มีสีน้ำตาลดำภายในผลจะมีเมล็ดเล็ก ๆ

อยู่เป็นจำนวนมาก เผือกเป็นพืชมีอายุอยู่ได้หลายฤดู ในประเทศไทยมีการปลูกเผือกอยู่ทุกภาค (นิรนาม, 2561) ปัจจุบันเผือกกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย ฮ่องกง ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์และมาเลเซีย เผือกเป็นพืชเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นที่สำคัญอีกพืชหนึ่ง ใช้บริโภคได้ทั้งส่วนที่เป็นหัวและส่วนอื่น เช่น ใบ ก้าน แต่ส่วนมากนิยมนำมาแปรรูปเป็นทั้งอาหารคาว อาหารหวานและนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อีกมากมาย ได้มีการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของเผือกสายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่าเผือกแต่ละชนิดจะมีสมบัติเชิงหน้าที่แตกต่างกัน (Aboubarkar et al., 2008; Mbofung et al., 2006) รวมทั้งได้มีการศึกษาอายุการเก็บของเผือกสด พบว่าหลังการเก็บเกี่ยวเผือกจะเริ่มเกิดการเน่าเสียภายใน 2 สัปดาห์ และเผือกจะเน่าเสียถึงร้อยละ 90 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน (Njintang et al., 2007; Sajeev et al., 2004)) ดังนั้นเพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาเผือกและช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับตัวผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงได้นำเผือกมาผลิตเป็นแป้ง (flour) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก นอกจากนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาแป้งที่ได้จากเผือก จึงนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โดนัทเพื่อเพิ่มทางเลือกที่หลากหลายให้กับผู้บริโภค

วิธีการวิจัย

1.การเตรียมแป้งเผือก

นำเผือกมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นให้มีแผ่นหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ทิ้งให้เย็น นำไปบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จากนั้นนำไปบรรจุในถุงพลาสติก (polyethylene) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป (Njintang et al., 1997; Njintang et al., 2007)

2. *สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากเผือก*

2.1 สมบัติด้านความหนืดของแป้งเผือก เปรียบเทียบกับแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด(แป้งสาลีอเนกประสงค์ แป้งเค้กและแป้งขนมปัง) โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) โดยทำการวัดค่า peak viscosity, break down, final viscosity และ setback

2.2 ค่าสี (Hunter Lab) ด้วยเครื่อง Chroma meter (Hunter Lab Color Flex45/0)

2.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายของแป้งเผือกเปรียบเทียบกับแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด (แป้งอเนกประสงค์ตราว่าว แป้งเค้กตราพัดโบก และแป้งขนมปังตราห่าน ผลิตโดยบริษัท ยูเอฟเอ็มเซ็นเตอร์ จำกัด ประเทศไทย) ตามวิธีการของ Singthong (2016)

2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเผือก (Proximate analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture content) โปรตีน (Protein content) ไขมัน (Total fat) เยื่อใย (Crude fiber) เถ้า (Ash) ตามวิธีของ AOAC (2000)

3. การประยุกต์ใช้แป้งเผือกในผลิตภัณฑ์โดนัท

ทำการผลิตโดนัทเค้กโดยการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กในอัตราส่วนต่างๆ คือ ร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 โดยส่วนผสมอื่นๆ (ผงฟู เกลือป่น น้ำตาลทราย นม ไข่ไก่ น้ำมันพืช) คงที่ ทำการร่อนแป้ง ผงฟู เกลือเข้าด้วยกัน จากนั้นตีไข่ น้ำตาลทราย ด้วยหัวตีรูปตะกร้อด้วยความเร็วสูงสุด แล้วเติมนม แป้งและน้ำมันพืช ตีจนส่วนผสมเนียน นำส่วนผสมมาหยอดลงอบในเครื่องทำโดนัท ประมาณ 2-3 นาที ทิ้งให้เย็น นำมาวิเคราะห์คุณภาพ

3.1 สมบัติทางกายภาพ

- ค่าสี (Hunter Lab) ด้วยเครื่อง Chroma meter (Hunter Lab Color Flex45/0)
- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer (LLOYD model LR5K series)

3.2 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Rating scale ซึ่งใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 80 คน เป็นนักศึกษาและบุคลากรสาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีคะแนนความชอบและไม่ชอบ ดังนี้ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด 2 คือ ไม่ชอบมาก 3 คือ ไม่ชอบปานกลาง 4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย 5 คือ รู้สึกเฉยๆ 6 คือ ชอบเล็กน้อย 7 คือ ชอบปานกลาง 8 คือ ชอบมาก 9 คือ ชอบมากที่สุด ทำการทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ของโดนัทเค้กจากแป้งเผือก โดยกำหนด 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

4. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองใช้การทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ Complete Randomized complete (CRD) แต่ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะใช้การทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น P≤0.05 และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี DRMT (Duncan's Multiple Rang test) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1.สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) ของแป้งเผือก ตามวิธีของ AOAC (2000) แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าแป้งเผือกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 81.10 รองลงมาคือ ความชื้นร้อยละ 8.38 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.26 และเถ้า 3.86 มีปริมาณไขมันน้อยที่สุดร้อยละ 0.40 เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ Njintang et al. (2007) พบว่ามีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันคือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในแป้งเผือกคิดเป็นร้อยละ 84.5 ความชื้นร้อยละ 6.7 โปรตีนร้อยละ 5.4 เถ้าร้อยละ 3.1 และไขมันร้อยละ 0.3

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเผือก

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งเผือก (%)
ความชื้น	8.38±0.08
โปรตีน	6.26±0.36
ไขมัน	0.40±0.00
เยื่อใย	0.76±0.21
เถ้า	3.86±0.02
คาร์โบไฮเดรต (Calculated by difference)	81.10

หมายเหตุ: N=3

เมื่อศึกษาสมบัติด้านความหนืดของแป้งเผือกด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) แสดงผลดังตารางที่ 2 พบว่าแป้งเผือกมีค่า peak viscosity ไม่แตกต่างกับแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ค่า peak viscosity หรือค่าความหนืดสูงสุดระหว่างการให้ความร้อน เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวได้เต็มที่ ส่วนค่า break down มีค่าไม่แตกต่างกับแป้งสาลีอเนกประสงค์ แต่มีค่าแตกต่างกับแป้งเค้กและแป้งขนมปัง โดยแป้งเผือกจะมีค่า break down สูงกว่าแป้งเค้กและแป้งขนมปัง ซึ่งค่า break down จะเป็นผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด บ่งบอกถึงความสามารถทนต่อแรงเฉือนหรือการกวน แสดงว่าแป้งเผือกจะมีความสามารถในการทนต่อแรงเฉือนหรือการกวนได้ดีกว่าแป้งเค้กและแป้งขนมปัง ส่วนค่า Final Viscosity และ ค่า setback พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) โดยแป้งเผือกจะมีค่า Final Viscosity และ ค่า setback น้อยกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด ซึ่งค่า Final Viscosity จะเป็นค่าความหนืดสุดท้าย และค่า setback เป็นผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดต่ำสุด การที่แป้งเผือกมีค่า Final Viscosity และ ค่า setback ต่ำ อาจเป็นผลเนื่องมาจากแป้งเผือกจะมีปริมาณอะไมโลสที่ต่ำกว่าแป้งสาลี โดยปริมาณอะไมโลสในแป้งเผือกจะอยู่ระหว่างร้อยละ 18-19 (Tattiyakul et al., 2006) และแป้งสาลีอยู่ระหว่างร้อยละ 24-27 (Ellis et al., 1998) การที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะส่งผลให้ค่าการคืนตัวกลับ (setback) และ ค่าความหนืดสุดท้ายสูงด้วยเช่นกัน เป็นผลเนื่องมาจากการที่โครงสร้างภายในของแป้งแตกออก ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสถูกชะล้างออกมา เมื่อมีการลดอุณหภูมิลงจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้งมาจับกันเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ ส่งผลให้เกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) (Smith, 1979) นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งยังทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็ง (freeze-thaw stability) ของแป้ง โดยแป้งที่มีการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีหรือมีค่า setback สูงจะมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งต่ำ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) แสดงว่าแป้งเผือกจะมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งสูงกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากมีค่า setback ที่ต่ำกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่าความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง RVA (RVU)

ตัวอย่าง	คุณสมบัติด้านความหนืด			
	Peak Viscosity	Break down	Final Viscosity	Setback
แป้งสาลีอเนกประสงค์	182.75±13.44[a]	65.21±5.48[a]	263.79±14.44[a]	146.25±6.48[a]
แป้งขนมปัง	171.05±6.89[a]	55.80±3.36[b]	216.34±5.89[b]	110.09±15.08[b]
แป้งเค้ก	171.63±5.13[a]	46.67±2.12[b]	211.04±1.47[b]	86.09±1.53[c]
แป้งเผือก	173.71±2.42[a]	66.72±0.07[a]	133.17±0.23[c]	24.88±0.42[d]

หมายเหตุ: [a, b, c, d] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่าสีของแป้งเผือกเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิดโดยเครื่อง Chroma meter (Hunter Lab รุ่น Color Flex 45/0) พบว่าแป้งเผือกมีค่า L*, a* และ b* แตกต่างกันกับแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งเผือกจะมีค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด ดังตารางที่ 3 อาจเป็นผลเนื่องมาจากในการผลิตแป้งเผือกไม่ได้มีการสกัดเม็ดสีออก ทำให้แป้งเผือกมีความสว่างหรือความขาวน้อยกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 3 ค่าสีของแป้งเผือกเปรียบเทียบกับแป้งสาลีอเนกประสงค์ แป้งขนมปัง และแป้งเค้ก

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
แป้งสาลีอเนกประสงค์	91.12±0.16[b]	-1.26±0.03[c]	6.22±0.20[b]
แป้งขนมปัง	90.24±0.12[c]	-1.11±0.02[b]	6.59±0.12[a]
แป้งเค้ก	93.20±0.09[a]	-1.58±0.02[d]	4.19±0.12[d]
แป้งเผือก	86.79±0.22[d]	-0.32±0.02[a]	5.25±0.14[c]

หมายเหตุ: [a, b, c, d] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

(a) (b) (c) (d)

ภาพที่ 1 แป้งเผือก (a) แป้งสาลีอเนกประสงค์ (b) แป้งขนมปัง (c) แป้งเค้ก (d)

ส่วนค่าการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI) และการละลาย (Water Solubility Index, WSI) ตามวิธีการของ Singthong (2016) พบว่าค่าการดูดซับน้ำและการละลายของแป้งเผือกมีค่าแตกต่างกันกับแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิดอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งเผือกจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายได้ดีกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด ดังตารางที่ 4 อาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่แป้งสาลีมีปริมาณไขมันสูงกว่าแป้งเผือก โดยจะมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 0.8-1.25 (Swinkels, 1985) ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะส่งผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะไปลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกันกับน้ำของแป้ง ซึ่งไขมันจะไปรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็นสาร amylose-lipid complex ทำให้แป้งไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย (Davies et al., 1980) ดังนั้นค่าการดูดซับน้ำและการละลายจะมีผลต่อการพองตัวและการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ถ้ามีการดูดซับน้ำและการละลายที่ดีก็จะส่งผลให้มีการพองตัวและเกิดเจลที่ดีด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4 การดูดซับน้ำและการละลายของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดแป้ง	การดูดซับน้ำ (กรัม/กรัม)	การละลาย(%)
แป้งขนมปัง	2.51 ± 0.02^{b}	10.04 ± 0.79^{bc}
แป้งเค้ก	2.47 ± 0.01^{b}	10.68 ± 0.06^{b}
แป้งสาลีอเนกประสงค์	2.33 ± 0.00^{c}	8.97 ± 0.34^{c}
แป้งเผือก	3.68 ± 0.03^{a}	16.59 ± 0.51^{a}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาคุณสมบัติของแป้งเผือก พบว่าแป้งเผือกสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง หรืออาหารที่ต้องการความข้นหนืดและต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา เนื่องจากมีค่า setback ที่ต่ำ (Rutenberg and Solareg, 1984) แต่จากงานวิจัยครั้งนี้ได้นำแป้งเผือกมาประยุกต์ใช้ในโดนัท เนื่องจากมีแป้งเผือกมีค่า peak viscosity หรือค่าความหนืดสูงสุดที่สูงใกล้เคียงกับแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด และมีค่าการดูดซับน้ำและการละลายที่สูงกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้มีความสามารถในการเกิดเจล และพองตัวที่ดีกว่า ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซึ่งมีมากมายหลายชนิด แต่ที่เลือกมาประยุกต์ใช้ในโดนัท เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค และโดนัทยังสามารถทำได้ง่าย สะดวก มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก ในแต่ละครั้งสามารถผลิตโดนัทได้ในจำนวนมาก และเพื่อสร้างความแปลกใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับตัวผลิตภัณฑ์โดนัท

2. การประยุกต์ใช้แป้งเผือกในผลิตภัณฑ์โดนัท

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในโดนัทเค้กที่ใช้แป้งเผือกมาทดแทนแป้งเค้กบางส่วน โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 80 คน (นักศึกษาและบุคลากร สาขาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) โดยกำหนดคุณลักษณะ 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้อัตราส่วน แป้งเผือก:แป้งเค้ก ที่แตกต่างกัน 6 ชุดการทดลอง คือ 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 โดยใช้แป้งเค้กร้อยละ 100 (0:100) เป็นสูตรควบคุม ผลแสดงดังตารางที่ 5 พบว่าลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่มีแป้งเค้กร้อยละ100 และแป้งเผือกร้อยละ 20 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่าการยอมรับที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ และตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนแป้งเผือกร้อยละ 100 จะมีค่าการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏน้อยที่สุด เนื่องมาจากการใช้แป้งเผือกในปริมาณน้อยจะทำให้มีลักษณะคล้ายกับโดนัทเค้กสูตรควบคุม โดยจะคงรูปร่างที่ดีส่วนโดนัทที่มีปริมาณแป้งเผือกมากจะมีความเหนียวมากเนื่องมาจากแป้งเผือกมีค่าการดูดซับน้ำและการละลายที่สูง โดยมีความสัมพันธ์กับค่าการดูดซับน้ำและการละลาย (ตาราง 2) ทำให้ยากต่อการขึ้นรูปจึงมีรูปร่างที่ไม่สวยงาม แสดงดังภาพที่ 2

ความชอบด้านสี พบว่าสีของตัวอย่างที่มีแป้งเค้กร้อยละ100 และแป้งเผือกร้อยละ 20 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าการยอมรับที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ โดยค่าการยอมรับทางด้านสีจะลดลงเมื่อมีปริมาณแป้งเผือกเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากในการผลิตแป้งเผือกไม่ได้มีการสกัดเม็ดสีจากเผือกออก ทำให้แป้งเผือกที่ได้มีความสว่างน้อยกว่าแป้งสาลี ทำให้การเพิ่มปริมาณแป้งเผือกส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ของโดนัทเค้กลดลง และผู้ทำการทดสอบชิมอาจจะมีความคุ้นเคยกับโดนัทเค้กที่มีความสว่าง มีสีเหลืองนวล ซึ่งการเติมแป้งเผือกจะทำให้โดนัทที่ได้มีสีคล้ำลง แต่แป้งเผือกก็สามารถทดแทนได้ถึงร้อยละ 20 โดยให้ค่าการยอมรับทางสีไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า b* ซึ่งถ้ามีค่าบวกบ่งบอกค่าสีเหลือง ค่าลบบ่งบอกค่าสีน้ำเงิน พบว่าค่า b* ของโดนัทที่มีแป้งเผือกร้อยละ 20 จะมีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากกว่าสูตรอื่น ดังภาพที่ 2 และตารางที่ 6

ความชอบด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวม พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) อาจเป็นผลเนื่องมาจากกลิ่นของแป้งเผือกเกิดการสูญเสียระหว่างขั้นตอนการอบโดนัท โดยความร้อนจะทำให้สารหอมระเหยที่มีในแป้งเผือกเกิดการระเหยออกไป และในขั้นตอนการผสมยังเติมกลิ่นวนิลาเพื่อปรับปรุงกลิ่นของโดนัท อาจทำให้กลบกลิ่นของแป้งเผือกได้ ความชอบทางด้านเนื้อสัมผัส พบว่าตัวอย่างโดนัทเค้กที่ใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กในอัตราส่วนต่างๆ มีความแตกต่างกันกับตัวอย่างควบคุม (แป้งเค้กร้อยละ 100) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) โดยตัวอย่างโดนัทเค้กที่ใช้แป้งเผือกทดแทนตั้งแต่ร้อยละ 20-100 ในทุกอัตราส่วนจะมีค่าการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (แป้งเค้กร้อยละ 100) อาจเป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งเผือก ทำให้โดนัทเค้กมีการเกาะตัวกันที่ดีและมีลักษณะเนื้อแน่น โดยมีความสัมพันธ์กับค่า TPA คือ ค่า Hardness (N) และค่า Cohesiveness ที่บ่งบอกถึงค่าความแน่นเนื้อและค่าการเกาะตัวกันทำให้มีลักษณะเนื้อแน่น ซึ่งแสดงว่าผู้ทำการทดสอบชิมจะชอบโดนัทที่มีลักษณะเกาะกันดีและมีความแน่นเนื้อสูง (ตาราง 5 และ 7)

ตารางที่ 5 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของโดนัทจากแป้งเผือกผสมกับแป้งเค้กในสูตรต่าง ๆ

ลักษณะที่ทดสอบ	การทดลอง					
	สูตร 1 (0:100)	สูตร 2 (20:80)	สูตร 3 (40:60)	สูตร 4 (60:40)	สูตร 5 (80:20)	สูตร 6 (100:0)
ลักษณะปรากฏ	7.14±1.44^{a}	7.13±1.39^{a}	6.62±1.50^{b}	6.06±1.52^{c}	5.70±1.72^{c}	5.03±1.85^{d}
สี	7.11±1.38^{a}	7.03±1.42^{a}	6.50±1.62^{b}	5.79±1.64^{c}	5.68±1.78^{c}	5.39±1.86^{c}
กลิ่นรส	5.85±1.59^{a}	6.16±1.37^{a}	6.18±1.57^{a}	6.30±1.57^{a}	6.13±1.81^{a}	6.21±1.97^{a}
เนื้อสัมผัส	5.39±2.01^{b}	5.38±1.57^{ab}	6.16±1.71^{a}	6.21±1.69^{a}	6.01±1.72^{a}	5.89±2.12^{ab}
ความชอบโดยรวม	6.15±1.69^{a}	6.43±1.36^{a}	6.46±1.60^{a}	6.29±1.58^{a}	6.16±1.64^{a}	6.06±1.94^{a}

หมายเหตุ: $^{a, b, c, d}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของโดนัทที่มีอัตราส่วน แป้งเผือก:แป้งเค้ก ที่อัตราส่วนต่างๆ โดย 0:100 (สูตร 1), 20:80 (สูตร 2), 40:80 (สูตร 3), 60:40 (สูตร 4), 80:20 (สูตร 5), 100:0 (สูตร 6)

ส่วนค่าสีของโดนัทที่ใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กในอัตราส่วนต่างๆ วัดโดยใช้เครื่อง Chroma meter (Hunter Lab รุ่น Color Flex 45/0) พบว่าค่า L*, a* และ b* ของโดนัทแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) ของโดนัทเค้กจะน้อยลงเมื่อปริมาณแป้งเผือกเพิ่มขึ้น มีค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลงจากสูตรควบคุม เนื่องจากแป้งเผือกมีสีออกไปทางโทนม่วงผสมชมพูอ่อน ดังตารางที่ 6 เนื่องมาจากแป้งเผือกจะมีค่าความสว่างน้อยเมื่อนำมาผลิตเป็นโดนัทเค้กก็ส่งผลให้มีค่าความสว่างน้อยลงด้วยเช่นกันดังภาพที่ 2 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งเผือกและค่าความชอบด้านสีของโดนัท โดยผู้ทดสอบชิมจะมีความชอบน้อยลงเมื่อมีปริมาณแป้งเผือกเพิ่มขึ้น เนื่องจากโดนัทจะมีสีคล้ำ

ตารางที่ 6 ค่าสีของโดนัทเค้กที่ผลิตจากการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กในอัตราส่วนต่างๆ

แป้งเผือก:แป้งเค้ก	L*	a*	b*
สูตร 1 (0:100)	64.60±0.32^{a}	1.92±0.11^{e}	25.85±0.45^{a}
สูตร 2 (20:80)	59.31±0.30^{b}	2.69±0.19^{c}	16.85±0.21^{b}
สูตร 3 (40:60)	55.90±0.01^{c}	2.36±0.15^{d}	16.73±1.12^{b}
สูตร 4 (60:40)	52.60±0.03^{d}	3.26±0.04^{b}	14.97±0.77^{c}
สูตร 5 (80:20)	50.30±0.03^{e}	2.96±0.04^{bc}	13.52±0.07^{d}
สูตร 6 (100:0)	47.47±0.05^{f}	5.71±0.16^{a}	16.06±0.08^{bc}

หมายเหตุ: $^{a, b, c, d, e, f}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของโดนัทที่ผลิตจากการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กในอัตราส่วนต่างๆ โดยทำการวัดค่าเนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยเครื่อง Texture Analyser พบว่าค่า Hardness (N) ของโดนัทที่ใช้แป้งเผือกร้อยละ 20 และร้อยละ 40 ไม่มีความแตกต่างกันกับโดนัทสูตรควบคุม (แป้งเค้กร้อยละ 100) แต่แป้งเผือกร้อยละ 60, 80 และ ร้อยละ 100 มีความแตกต่างกับสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 7 พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเผือกเพิ่มขึ้นจะทำให้มีค่า Hardness (N) เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับค่า Cohesiveness เมื่อแป้งเผือกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Cohesiveness เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันคือ ค่า Hardness (N) จะบ่งบอกถึงความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ และค่า Cohesiveness จะแสดงถึงความสามารถในการเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อโดนัทมีการเกาะตัวสูงก็จะส่งผลให้มีค่าความแน่นเนื้อสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการยอมรับของผู้บริโดภคด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้ทดสอบชิมให้ค่าคะแนนความชอบของโดนัทที่มีความแน่นเนื้อมากกว่าสูตรควบคุม

ตารางที่ 7 ลักษณะเนื้อสัมผัส Hardness (N) และ Cohesiveness ของโดนัทเค้กที่ผลิตจากการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กในอัตราส่วนต่างๆ

แป้งเผือก:แป้งเค้ก	Hardness (N)	Cohesiveness
สูตร 1 (0:100)	2.73±0.16^{d}	0.07±0.01^{c}
สูตร 2 (20:80)	2.93±0.25^{d}	0.08±0.02^{c}
สูตร 3 (40:60)	3.02±0.06^{d}	0.09±0.01^{bc}
สูตร 4 (60:40)	4.04±0.23^{c}	0.10±0.01^{ab}
สูตร 5 (80:20)	4.35±0.27^{b}	0.11±0.01^{ab}
สูตร 6 (100:0)	4.83±0.13^{a}	0.12±0.02^{a}

หมายเหตุ: $^{a, b, c, d}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

แป้งเผือกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง แต่มีปริมาณไขมันต่ำ แป้งเผือกมีค่าการดูดซับน้ำและการละลายที่สูงกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด (แป้งขนมปัง แป้งอเนกประสงค์ แป้งเค้ก) ซึ่งจะส่งผลต่อการพองตัวและเกิดเจลที่ดีกว่า สมบัติด้านความหนืดของแป้งเผือก พบว่าแป้งเผือกมีค่า break down สูงกว่าแป้งเค้กและแป้งขนมปัง แสดงว่าแป้งเผือกมีความคงทนต่อการกวนมากกว่าแป้งเค้กและแป้งขนมปัง ในขณะที่แป้งเผือกมีค่า final viscosity และ ค่า setback ต่ำกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้แป้งเผือกสามารถเกิดรีโทเกรเดชัน ได้น้อยกว่าแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิด สำหรับการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่ใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งเค้กตั้งแต่ร้อยละ 20-100 มากกว่าตัวอย่างควบคุม (แป้งเค้กร้อยละ 100) โดยมีความสัมพันธ์กับค่า Hardness และ Cohesiveness ที่บ่งบอกถึงค่าความแน่นเนื้อและค่าการเกาะตัวกัน ทำให้โดนัท

มีลักษณะเนื้อแน่นและเกาะตัวกันดี ส่วนลักษณะปรากฏและสีพบว่าสามารถใช้แป้งเผือกทดแทนได้ร้อยละ 20 โดยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับสูตรควบคุม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง (L*) โดยค่าความสว่างมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณแป้งเผือกเพิ่มมากขึ้น สำหรับความชอบด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 303 หน้า.

นิรนาม. (2561). เผือก.26 ตุลาคม 2561, [http://www.rspg.thaigov.net/index.htm].

Aboubarkar, Njintang, Y. N., Scher J. and Mbofung, C. M. F. (2008). Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. Journal of Food Engineering, 86, 294-305.

AOAC. (2000). Official of Association of Analytical Chemists 17 th Ed., Association of Analytical Chemist, Washington D.C.

Davies, T., Miller, D.C. and Procter, A.A. (1980). Investigations of the Great Northern Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Starch: Solubility, Swelling, Interaction with Free Fatty Acids, and Alkaline Water Retention Capacity of Blends with Wheat Flours. Journal of Food Science. 46, 1914-1917.

Ellis, R.P., Cochrane, M.P., Dale, M.F.B., Duffus, C.M., Lynn, A., Morrison, I.M., Prentice, R.D.M., Swanston, J.S. and Tiller, S.A. (1998). Starch production and industrial use. Journal of Science of Food and Agriculture, 77, 289-311.

Mbofung, C.M.F. , Aboubakar,Y.N. Njintang , A. Abdou Bouba and F.Balaam , (2006). Physicochemical and functional properties of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour. Journal of Food Technology, 4, 135-142.

Njintang Y. N., Mbofung, C. M. F., Abdou, b. A., Aboubarkar, Parker M., Faulk, C., Smith, A., Graham, M., Bennett, R. and Waldron, W. K. (1997). Major constraints associated with the use taro (*Colocasia esculenta*) flour as raw material for the preparation of achu. Food Africa Conference Paper.

Njintang Y. N., Mbofung, C. M. F., Moates, G. K., Parker, M. L., Craig, F., Smith, A. C. and Waldron, W. K. (2007). Functional properties of five varieties of taro flour, and relationship to creep recovery and sensory characteristics of achu (taro based paste). Journal of Food Engineering, 82, 114-120.

Rutenberg, M.W., and D. Solarek. (1984). Starch derivatives: Technology and uses. *In* R.L.

Sajeev, M.S., Manikantan, M.R., Kingsly, A.R.P., Moorthy, S.N., andSreekumar, J. (2004). Texture Analysis of Taro (Colocasia esculentaL. Schott) Cormels during Storage and Cooking. Journal of Food Science, 69 (7), 315-321.

Singthong, J. (2016). Functional properties and utilization of rice bran dietary fiber in bread. Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University, 18(2), 63-73.

Smith, R.J. (1979). Food Carbohydrate. The AVI Publishing Co., Westort, Connecticut. 416 p.

Swinkels, J.J.M. (1985). Composition and properties of commercial native starches. *Starch/Starke*, 37, 1-5.

Sajeev, M.S., Manikantan, M.R., Kingsly, A.R.P., Moorthy, S.N., and Sreekumar, J. 2004. Texture Analysis of Taro (Colocasia esculenta L. Schott) Cormels during Storage and Cooking. J. Food Science, 69(7):315-32

Sajeev, M.S., Manikantan, M.R., Kingsly, A.R.P., Moorthy, S.N., and Sreekumar, J. 2004. Texture Analysis of Taro (Colocasia esculenta L. Schott) Cormels during Storage and Cooking. J. Food Science, 69(7):315-32

Sajeev, M.S., Manikantan, M.R., Kingsly, A.R.P., Moorthy, S.N., and Sreekumar, J. 2004. Texture Analysis of Taro (Colocasia esculenta L. Schott) Cormels during Storage and Cooking. J. Food Science, 69(7):315-32

Tattiyakul J., Asavasaksakul S. and Pradipasena P. (2006). Chemical and physical properties of flour extracted from taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) grown in different regions of Thailand. ScienceAsia, 32, 275-280.

Sajeev, M.S., Manikantan, M.R., Kingsly, A.R.P., Moorthy, S.N., and Sreekumar, J. 2004. Texture Analysis of Taro (Colocasia esculenta L. Schott) Cormels during Storage and Cooking. J. Food Science, 69(7):315-32

Whistler, J.N. Bemiller, and E.F. Paschall (Eds.). Starch: Chemistry and Technology. 2nd Ed. Academic Press, Inc., Florida. pp. 311-388.

การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาและทดแทนไขมันเนยด้วยไขมันรูปน้ำมัน/เจล ในการผลิตบิสกิตเพื่อสุขภาพ

ทิพย์สุดา ทาคำนิล ปัณณพร รุกขวัฒนาชน เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด และปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ*
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail : pan.p@ubu.ac.th (Corresponding author)

บทคัดย่อ

เด็กไทยจำนวนมากมักเป็นเด็กอ้วนมีสาเหตุมาจากการบริโภคขนมขบเคี้ยวซึ่งส่วนใหญ่จะผลิตมาจากวัตถุดิบหลักคือแป้ง และไขมัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตบิสกิตเพื่อสุขภาพ โดยศึกษาการใช้แป้งจากงาทดแทนแป้งสาลี 5 ระดับ คือร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 และศึกษาการทดแทนไขมันโดยการใช้น้ำมันงาในรูปน้ำมัน/เจล (oil/gel) 2 รูปแบบ ได้แก่ oil/xanthan gum และ oil/hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) ที่ 5 ระดับคือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 จากนั้นศึกษาคุณภาพของบิสกิตด้วยการทดสอบ ค่าความแข็ง ค่าความกรอบ ค่าการขยายตัว ค่าสี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9- Point Hedonic Scale เพื่อคัดเลือกบิสกิตสูตรทดแทนแป้งและไขมันเนยที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของบิสกิตดังกล่าวเปรียบเทียบกับบิสกิตสูตรพื้นฐาน ผลการทดลองพบว่า บิสกิตที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาที่ระดับเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความกรอบ ค่าการขยายตัว และค่าสี L* a* และ b* ลดลง การทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้บริโภคให้การยอมรับบิสกิตที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาร้อยละ 15 และการทดแทนไขมันเนยด้วยน้ำมันงาในรูป oil/HPMC และ oil/ xanthan gum พบว่า เมื่อระดับการทดแทนไขมันเนยเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งและค่าความกรอบค่าการขยายตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (P<0.05) การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสผู้บริโภคให้การยอมรับการทดแทนไขมันในรูปแบบ oil/HPMC ที่ร้อยละ 50 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของบิสกิตสูตรพื้นฐานและบิสกิตเพื่อสุขภาพ (ประกอบด้วยแป้งงาร้อยละ 15 และ ไขมันในรูป oil/HPMC ร้อยละ 50) ที่ผ่านการยอมรับจากผู้บริโภค พบว่า บิสกิตเพื่อสุขภาพมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแต่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐาน การศึกษาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ทดสอบ DPPH radical scavenging activity ค่า reducing power และ metal-chelating activity) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่าตัวอย่างบิสกิตเพื่อสุขภาพ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐานจึงส่งผลให้บิสกิตเพื่อสุขภาพมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

คำสำคัญ: แป้งงา บิสกิต สารต้านอนุมูลอิสระ

Substitution of wheat Flour With Sesame Flour and Replacing Fat with Oil/Gel Form for Healthy Biscuits Production

Thipsuda Tarkumnin, Pannaphon Rukkhawatthanachon, Ekasit onsaard and Panchaporn Tadpitchayangkun Promchote*
Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University
*E-mail : pan.p@ubu.ac.th) Corresponding author)

Abstract

Many Thai children are often obese, which is caused by the consumption of snacks. Most snacks are made from the main raw material, flour and fat. Therefore, this research aimed to develop healthy biscuits by studying the use of sesame flour instead of wheat flour from 5 levels of 0, 5, 10, 15 and 20% and the use of fat substitution by using sesame oil in two forms of oil/gel, namely oil/xanthan gum and oil/hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) at 5 levels, 0 25 50 75 and 100% was also studied. Then, the quality of biscuits by testing the values of hardness, crispness, expansion and color were studied. Sensory test by 9- point hedonic scale method to select biscuits that accepted by the consumer with the highest score was also performed. After that chemical composition, total phenolic content and antioxidant properties of biscuits were analyzed

and compared to basic recipe biscuits. The results showed that the biscuits that replaced wheat flour with sesame flour at increasing levels resulted in increased hardness. While the crispness, expansion and color values of L * a * and b * decreased. For sensory evaluation, consumers accepted biscuits that replaced wheat flour with 15 % of sesame flour. Substitute fat with sesame oil in the form of oil / HPMC and oil / xanthan gum found that when the level of fat substitution increased, the hardness and crispness values were affected and the expansion value was likely to increase. (P<0.05). Consumers accepted to biscuits that replaced with 50% of oil/ HPMC. Chemical compositions of the accepted healthy biscuits (with 15% sesame flour and 50% oil/HPMC) were compared to the basic biscuits. The results found that the healthy biscuits contained more protein content but it has less fat than the basic biscuits. The results of antioxidant properties (DPPH radical scavenging activity, reducing power and metal-chelating activity) and total phenolic content showed that the healthy biscuits have a higher amount of phenolic compounds than the basic biscuits, resulting in the healthy biscuits with higher antioxidant activity than the basic biscuits with statistical significance (P<0.05).

Keywords : Sesame flour, Biscuits

บทนำ

บิสกิตเป็นขนมขบเคี้ยวที่ได้รับความนิยมในการบริโภคโดยเฉพาะในกลุ่มเด็กและวัยรุ่น การทานขนมขบเคี้ยวเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอ้วนในเด็ก เนื่องจากขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัตถุดิบหลักคือแป้ง น้ำตาล และไขมัน จึงทำให้รู้สึกอิ่มและรับประทานอาหารมื้อหลักได้น้อยลง นอกจากนี้ส่วนประกอบหลักโดยเฉพาะแป้งและไขมันสามารถสะสมในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอื่น ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง (ชุติมา, 2554; นิรนาม, 2560; Carnell et al., 2017) บิสกิตจัดเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 5 และไขมันสูงกว่าร้อยละ 18 (Institute of Nutrition, 1998) บิสกิตผลิตจากแป้งสาลีที่มีกรดอะมิโนจำเป็นต่ำ เช่น เมทไธโอนีน (กมลวรรณ และคณะ, 2544) แป้งจากกากงาจัดเป็นแป้งมีปริมาณโปรตีนสูงร้อยละ 41-45 และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น ซีสตีน ทริฟโตเฟน และเมทไธโอนีนสูง (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547) การพัฒนาบิสกิตจากแป้งกากงาเพื่อทดแทนแป้งสาลีจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณโปรตีนในบิสกิต ไขมันที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรีเป็นไขมันชนิดกึ่งแข็งกึ่งเหลว ได้แก่ มาการีน เนยขาว และเนยสด ไขมันโดยเฉพาะมาการีน เนยเทียมและเนยขาว ที่ผลิตจากกระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วน (partial hydrogenation) มีผลให้เกิดไขมันทรานส์ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (ศิริชนก, 2561) การลดปริมาณไขมันโดยใช้น้ำมันงาที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงและมีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นแนวทางการลดปริมาณการใช้ไขมันอิ่มตัวที่ส่งผลต่อสุขภาพ แต่การใช้น้ำมันงาในรูปของของเหลวอาจส่งผลต่อลักษณะของบิสกิต การปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันงาให้อยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลวซึ่งมีลักษณะคล้ายไขมันและเหมาะสมสำหรับการผลิตบิสกิตสามารถทำได้โดยการใช้น้ำมันร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ในรูปของน้ำมัน/เจล (oil/gel) (Laguna et al., 2013) ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้แป้งจากกากงาทดแทนแป้งสาลีเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน และการลดปริมาณไขมันโดยการใช้น้ำมันงาในรูปน้ำมัน/เจล ในการผลิตบิสกิตเพื่อสุขภาพ นอกจากจะเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่มีพฤติกรรมชอบรับประทานอาหารขบเคี้ยวแทนอาหารมื้อหลักบางมื้อแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่ากากงาและการใช้ประโยชน์จากน้ำมันงา

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมแป้งงาและการศึกษาคุณภาพแป้งงา

วิธีการเตรียมแป้งงาทำโดยการอบกากงาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง สกัดน้ำมันออกโดยใช้เฮกเซนในอัตราส่วนกากงาต่อเฮกเซน 1:6 (น้ำหนัก/ปริมาตร) กวนที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาที นาน 30 นาที แยกตะกอนแล้วนำไประเหยเฮกเซนออกข้ามคืนในตู้ดูดควัน แล้วอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำกากงาที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้เป็นแป้งงา (ดัดแปลงจากวิธี Inyang and Iduh,1996) จากนั้นนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ตามวิธี AOAC (2000)

2. ศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาในการผลิตบิสกิต

2.1 การผลิตบิสกิตสูตรพื้นฐาน บิสกิตสูตรพื้นฐานประกอบด้วยแป้งสาลีร้อยละ 51.77 น้ำตาลร้อยละ 10.35 ไขมันเนยเทียมร้อยละ 17.26 เนยขาว (fully hydrogenated oil) ร้อยละ 8.11 ไข่ไก่ร้อยละ 8.63 น้ำมันพืชร้อยละ 3.02 และเกลือร้อยละ 0.43 วิธีการผลิตทำโดยการร่อนแป้ง เกลือ และผงฟูเข้าด้วยกัน จากนั้นผสมแป้งกับน้ำตาล ไข่ ไขมันและน้ำมันพืช ให้เข้ากัน พักแป้ง 20 นาที แล้วคลึงแป้งหนา ¼ นิ้ว ตัดด้วยพิมพ์ อบอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 12 นาที

2.2 ศึกษาการทดแทนแป้งงาในการผลิตบิสกิต โดยใช้สูตรบิสกิตแป้งสาลีร้อยละ 100 เป็นสูตรต้นแบบ ทำการผลิตบิสกิตโดยแปรปริมาณแป้งงาที่ 5 ระดับ ได้แก่ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าความแข็ง ค่าความกรอบ ค่าการขยายตัว ตามวิธี AACC (2000) และวัดค่าสี L* a* และ b* ด้วยเครื่อง Hunter lab

2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ระดับ (9- Point Hedonic Scale) (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน จากนั้นคัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดเป็นสูตรที่ใช้ในการทดลองต่อไป

2.3 การวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) และการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะหความแปรปรวนของขอมูลด้วย Analysis of Variance (ANOVA) test และเปรียบเทียบความแตกตางของคาเฉลี่ยดวยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT)

3. การศึกษาการทดแทนไขมันเนยด้วยน้ำมันงาในรูป oil/gel ในการผลิตบิสกิต

3.1. การเตรียมน้ำมันงาโดยระบบ oil/gel โดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ตามวิธีของ Tarancon *et al*. (2013)

3.1.1 ระบบ oil/xanthan gum เตรียมสัดส่วนของ น้ำมันงา น้ำ และ xanthan gum ร้อยละ 47 52 และ 1 ตามลำดับ จากนั้นผสมน้ำกับ xanthan gum ให้เข้ากันแล้วเติมน้ำมันงาและผสมอย่างต่อเนื่อง นาน 6±1 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.1.2 ระบบ oil/HPMC เตรียมสัดส่วนของน้ำมันงา น้ำ และ HPMC ร้อยละ 47 51 และ 2 ตามลำดับ โดยขั้นแรกผสม HPMC กับน้ำมันให้เข้ากันและผสมอย่างต่อเนื่อง แล้วค่อย ๆ เติมน้ำขณะที่กวนเพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเวลา 6±1 นาที

3.2. ศึกษาการทดแทนไขมันในบิสกิต เลือกใช้บิสกิตที่มีการทดแทนด้วยแป้งงาและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค จากการทดลองข้อที่ 2 มาทำการทดแทนไขมันด้วยน้ำมันงาในระบบ oil/gel แบบ oil/xanthan gum และ oil/HPMC โดยแปรอัตราส่วนของ oil/gel ที่ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของไขมันเริ่มต้น จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

3.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพการวัดค่าความแข็ง ค่าความกรอบ ค่าการขยายตัว ตามวิธี AACC (2000)

3.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพด้านลักษณะประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.2.2

3.4 การวางแผนการทดลองแบบ CRD และการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะหความแปรปรวนของขอมูลดวยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกตางของคาเฉลี่ยดวยวิธี DMRT

4. การศึกษาคุณภาพบิสกิตเพื่อสุขภาพ

จากผลการทดลองข้อที่ 3 ทำการเลือกสูตรบิสกิตที่ผู้บริโภคยอมรับ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมสูตรพื้นฐาน จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์บิสกิต ดังนี้

4.1 วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ตามวิธี AOAC (2000)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธี Ajila *et al*. (2008)

4.3 การวิเคราะห์สมบัติต้านอนุมูลอิสระ

4.3.1 วิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ดัดแปลงจากวิธี Ajila *et al*. (2008)

4.3.2 วิเคราะห์ Reducing power ดัดแปลงจากวิธี Wu *et al*. (2003)

4.3.3 วิเคราะห์ Metal-chelating activity ดัดแปลงจากวิธี Decker and Welch (1990)

วิเคราะหค่าทางสถิติโดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของคาเฉลี่ยตัวอย่างบิสกิตเพื่อสุขภาพและบิสกิตควบคุมด้วยวิธี t-test

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากงาและแป้งงาแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า แป้งงาที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยการสกัดไขมันออกมีปริมาณไขมันลดลงเป็นร้อยละ 11.69 จากเดิมร้อยละ 29.13 ปริมาณโปรตีนในแป้งงาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 33.11 เป็นร้อยละ 43.60 ซึ่งโปรตีนในแป้งงามีปริมาณที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากการสกัดน้ำมันออก สอดคล้องกับผลการทดลองของสุธิดาและสุพรรษา (2555) ซึ่งพบว่า แป้งงาที่ทำการสกัดน้ำมันด้วยเฮกเซนมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 29.21 เป็น ร้อยละ 32.98 แป้งงามีปริมาณเยื่อใยลดลง 7.4 เท่า เมื่อเทียบกับปริมาณเยื่อใยของกากงาเริ่มต้นเนื่องจากมีขั้นตอนการกำจัดกากงาออกและแป้งงามีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14.98 ปริมาณเถ้าแสดงถึงสารอนินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุในแป้งงา แป้งงามีแร่ธาตุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส เป็นต้น (Elleuch *et al.*, 2007) จากผลการวิจัยของพัชนีพรรณและพรพรรณ (2550) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของแป้งงามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 2.19 41.15 1.49 6.15 3.46 และ 49.02 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแป้งงาดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างจากแป้งงาที่ได้จากการทดลองครั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของวัตถุดิบและขั้นตอนการสกัด แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการสกัดกากงาครั้งนี้มีผลให้ได้แป้งงาที่มีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าร้อยละ 40

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของกากงาและแป้งงา

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละฐานแห้ง)	
	กากงา	แป้งงา
ไขมัน	29.13±1.41[a]	11.69±1.25[b]
โปรตีน	33.11±0.31[b]	43.60±0.07[a]
เยื่อใย	31.25±1.19[a]	4.19±0.23[b]
เถ้า	7.71±0.14[b]	14.98±0.17[a]

หมายเหตุ [a,b] ที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาในการผลิตบิสกิต

การศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาในการผลิตบิสกิต โดยการแปรระดับแป้งงา 5 ระดับ ได้แก่ การใช้แป้งงาร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ของน้ำหนักแป้งสาลี ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งงาส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของบิสกิต (ภาพที่ 1 และ ตารางที่ 2)

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของบิสกิตที่ใช้แป้งงาทดแทนแป้งสาลี พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b*) ของบิสกิตสูตรที่ใช้แป้งงาทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 5 10 15 และ 20 มีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) เนื่องจากอิทธิพลสีของแป้งงา ค่าความแข็ง (hardness) ของบิสกิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนด้วยแป้งงา ($P \leq 0.05$) การทดแทนด้วยแป้งงามีผลต่อการลดลงของแป้งสาลีซึ่งทำให้ปริมาณกลูเตนในบิสกิตลดลงจึงส่งผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสที่แน่นและแข็งขึ้น ค่าความแข็งของบิสกิตไม่มีความแตกต่างกันเมื่อมีการเพิ่มแป้งงาร้อยละ 5 10 และ 15 ($P>0.05$) แต่การทดแทนแป้งสาสีด้วยแป้งงาร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงเนื่องจากแป้งงามีผลต่อการเกาะกันระหว่างอนุภาคแป้งน้อยลง แป้งงามีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแป้งสาลีเมื่อเพิ่มอัตราการทดแทนมากขึ้นทำให้เกาะตัวกัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของอริสราและอรอุมา (2550) พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลและแป้งข้าวกล้อง ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าความแข็งของคุกกี้ลดลงเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ค่าความกรอบ (crispness) ของบิสกิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งงามากขึ้นจากร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 20 ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าบิสกิตมีความกรอบน้อย เนื่องจากปริมาณกลูเตนจากแป้งสาลีในบิสกิตน้อยลงจึงมีผลให้แป้งสาลีมีการขยายตัวน้อย (Feldberg, 1969) จึงใช้แรงในการกดให้แตกมากกว่าบิสกิตสูตรไม่เติมแป้งงา ค่าการแผ่ขยายตัว (spread ratio) พบว่า บิสกิตทดแทนด้วยแป้งงาทุกสูตรมีค่าการแผ่ขยายตัวน้อยกว่าบิสกิตแป้งสาลี เนื่องจากการเติมปริมาณแป้งงาที่มีปริมาณโปรตีนสูงในบิสกิต ส่งผลทำให้การแผ่ขยายตัวลดลง (รุจิรา และคณะ, 2543) ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัยหลายงานวิจัยที่มีการนำแป้งที่มีโปรตีนสูงชนิดต่าง ๆ มาทดแทนแป้งสาลีในสูตร โดยพบว่า แป้งที่มีโปรตีนสูงที่ไม่ใช่แป้งสาลีหรือส่วนผสมที่เพิ่มเข้ามาที่มีโปรตีนสูงจะดูดซึมน้ำในระหว่างการผสมมีผลทำให้ค่าการแผ่ขยายตัวลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำในสูตรไม่เพียงพอในการละลายน้ำตาลจึงทำให้มีความหนืดของคุกกี้เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อค่าอัตราการแผ่ขยายตัวที่ลดลง (Arshad *et al*., 2007; McWatters et al., 2003; Shrestha and Noomhorm, 2002) นอกจากนี้อาจเกิดจากการรวมกัน (aggregate)

ของโปรตีนจากแป้งงาเมื่อได้รับความร้อนระหว่างการอบ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงามีผลต่อการลดลงของปริมาณกลูเตนในแป้งสาลีและการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนที่ไม่ใช่กลูเตนจึงส่งผลให้บิสกิตมีลักษณะแน่นและแข็งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบิสกิตแป้งสาลี

ร้อยละ 0 ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 ร้อยละ 20

ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ใช้แป้งงาทดแทนแป้งสาลี 5 ระดับ คือร้อยละ 0 5 10 15 และ 20

จากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับบิสกิตสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของแป้งงาเพิ่มขึ้นทำให้บิสกิตมีความแข็งเพิ่มขึ้น ความกรอบลดลง และการแผ่ขยายตัวลดลงตามไปด้วย จึงทำให้มีคาความชอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ลดลง บิสกิตที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาที่มีคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่นคือ สูตรแป้งงาร้อยละ 15 แม้ว่าสูตรดังกล่าวมีค่าคะแนนน้อยกว่าสูตรพื้นฐาน แต่ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงา ส่งผลให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบลดลง ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการลดปริมาณแป้งสาลีและเพิ่มปริมาณแป้งงา มีผลต่อการเกิดเจล (gelatinization) ของแป้งสาลีและโปรตีนจากแป้งงาซึ่งมีปริมาณสูงเกิดการเสียสภาพ (denaturation) และเกิดการ aggregation ระหว่างการอบ จึงส่งผลให้บิสกิตมีลักษณะแข็งและการขยายตัวลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแป้งงา สอดคล้องกับผลค่าความแข็ง ความกรอบและการขยายตัว ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของบิสกิตที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงา

ลักษณะทางกายภาพ		ระดับการทดแทนด้วยแป้งงา (ร้อยละ)				
		0	5	10	15	20
ค่าสี	L*	69.21±0.35^{a}	49.79±0.07^{b}	46.07±0.06^{b}	41.18±0.05^{c}	37.27±0.93^{d}
	a*	9.05± 0.15^{a}	2.35±0.06^{b}	1.66±0.07^{b}	1.70±0.04^{b}	1.65±0.09^{b}
	b*	32.68±0.07^{a}	13.40±0.13^{b}	9.07±0.09^{b}	7.27±0.07^{c}	6.18± 0.30^{d}
ค่าความแข็ง (N)		4.13±0.74^{b}	5.43±0.91^{a}	5.18±0.62^{a}	5.27±0.76^{a}	3.72±0.48^{b}
ความกรอบ (N)		3.84±1.34^{b}	6.33± 1.45^{a}	6.33±0.85^{a}	5.94±1.67^{a}	7.76±1.35^{a}
การขยายตัว		10.00±0.00^{a}	9.67±0.14^{b}	9.58±0.14^{b}	9.42±0.14^{c}	9.25±0.00^{d}

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} ที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบิสกิตที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงา

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ/(ร้อยละการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงา)				
	(0)	(5)	(10)	(15)	(20)
ลักษณะปรากฏ	7.13±1.01^{a}	6.37±1.30^{bc}	5.97±1.35^{c}	6.93±0.74^{ab}	4.70±1.36^{d}
สี	7.30±0.95^{a}	5.52±1.50^{c}	5.41±1.35^{c}	6.61±1.71^{b}	4.00±1.84^{d}
กลิ่น	7.03±1.47^{a}	5.7±1.34^{bc}	5.47±1.60^{c}	6.17±1.34^{b}	5.43±1.48^{c}

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ/(ร้อยละการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงา)				
	(0)	(5)	(10)	(15)	(20)
รสชาติ	7.10±1.16[a]	6.57±1.41[ab]	6.10±1.18[b]	7.07±1.16[a]	4.70±1.42[c]
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.13±1.01[a]	6.50±1.20[ab]	5.96±1.35[b]	6.37±1.30[b]	4.40±1.75[c]
ความชอบโดยรวม	7.17±0.91[a]	6.23±1.07[b]	5.53±1.04[c]	6.53±1.11[b]	5.07±1.44[c]

หมายเหตุ: [a,b,c,d] ที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการศึกษาการทดแทนไขมันเนยด้วยน้ำมันงาในรูป oil/gel ในการผลิตบิสกิตแป้งงา

จากการทดลองการศึกษาการทดแทนไขมันเนยด้วยน้ำมันงาในรูป oil/gel ในการผลิตบิสกิตแป้งงา (ตารางที่ 4) พบว่าเมื่อมีการทดแทนไขมันเนยด้วย oil/gel ในระดับที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแซนแทนกัมมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ จึงทำให้มีปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลของแป้งและการขยายตัวในระหว่างอบ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทดแทนไขมันเนยด้วย oil/ HPMC ร้อยละ 25 และ 50 พบว่าบิสกิตมีค่าความแข็งต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เนื่องจากสายโซ่ของ HPMC เข้าไปขัดขวางอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับสตาร์ช (นราธิป, 2555) จึงสามารถช่วยลดค่าความแข็งของบิสกิตได้ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ ณัฐธิดา และคณะ (2554) ซึ่งทำการศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์และความชื้นของส่วนผสมต่อคุณภาพของอาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าวกล้องงอก ผลการทดลองพบว่า ปริมาณ xanthan gum ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ค่าความกรอบของบิสกิตที่ทดแทนไขมันด้วย oil/xanthan gum และ oil/HPMC ในระดับที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าต้องใช้แรงมากในการทำให้บิสกิตเกิดการแตกหักซึ่งมีนัยว่าบิสกิตมีความกรอบลดลง เนื่องจากเมื่อมีการทดแทนไขมันที่มากขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของบิสกิตแน่นขึ้น ค่าการขยายตัวของบิสกิตที่ทดแทนไขมันด้วย oil/xanthan gum มีค่าการแผ่ขยายตัวลดลง แต่ค่าการขยายตัวของบิสกิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการทดแทนไขมันด้วย oil/HPMC เพิ่มขึ้น เนื่องจาก HPMC มีความสามารถเพิ่มปริมาตรจำเพาะได้มากกว่า xanthan gum ซึ่งมีความสามารถในการเพิ่มความคงตัวในระหว่างการเกิดโด ทำให้สามารถรักษาโครงสร้างของฟองอากาศไว้ได้ดี จึงทำให้มีค่าการแผ่ขยายตัวเพิ่มขึ้น (ณัฐฐพร, 2552; นราธิป, 2555) ค่าลักษณะการทดสอบทางกายภาพของบิสกิตที่ทดแทนไขมันด้วย oil/xanthan gum และ oil/HPMC ดังแสดงในตารางที่ 4 สอดคล้องกับภาพที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าบิสกิตที่มีการทดแทนไขมันด้วย oil/HPMC โดยเฉพาะการทดแทนร้อยละ 100 มีแผ่ขยายตัวมากกว่าบิสกิตที่ทดแทนด้วย oil/xanthan gum

จากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของบิสกิตแป้งงาที่ทดแทนไขมันด้วยน้ำมันงาในระบบ oil/gel พบว่า การทดแทนไขมันด้วย oil/xanthan gum และ oil/HPMC ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งทำให้คะแนนในการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคให้การยอมรับลดลง แต่ผู้บริโภคยังให้การยอมรับและให้คะแนนความชอบโดยใช้ oil/HPMC ที่ระดับร้อยละ 50 ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มากที่สุด (ตารางที่ 5)

ภาพที่ 2 บิสกิตแป้งงาที่ทดแทนไขมันเนยด้วยน้ำมันงารูป oil/gel แบบ oil/xanthan gum และ oil/HPMC ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของบิสกิตแป้งงาที่ทดแทนไขมันเนยด้วยน้ำมันงารูป oil/gel

Sesame oil/gel (ร้อยละ)		ค่าการทดสอบลักษณะทางกายภาพ		
		ความแข็ง (N)	ความกรอบ (N)	การขยายตัว
ตัวอย่างควบคุม	0	4.16±0.99^{ab}	4.57±0.58^{b}	9.42±0.45^{ab}
oil/xanthan gum	25	3.47±0.85^{bc}	4.58±0.94^{b}	9.85±1.11^{ab}
	50	4.44±1.15^{ab}	4.98±0.70^{ab}	9.42±1.02^{ab}
	75	4.41±1.17^{ab}	4.63±0.79^{b}	9.34±1.45^{ab}
	100	5.08±0.48^{a}	5.66±1.21^{a}	7.82±1.21^{d}
oil/HPMC	25	2.02±0.49^{d}	2.94±0.53^{c}	8.60±1.01^{bc}
	50	2.73±0.48^{cd}	4.11±0.74^{b}	8.76±1.04^{bc}
	75	4.23±1.06^{ab}	4.48±0.62^{b}	9.61±1.14^{ab}
	100	5.24±1.36^{a}	4.80±0.92^{ab}	10.36±1.67^{a}

หมายเหตุ : ^{a,b,c} ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95

ตารางที่ 5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของบิสกิตแป้งงาที่ทดแทนไขมันด้วยoil/gel

Sesame oil/gel (ร้อยละ)		คะแนนความชอบของบิสกิตแป้งงาที่ทดแทนไขมันด้วยoil/gel					
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ตัวอย่างควบคุม		6.95±0.91^{a}	6.88±0.97^{a}	6.45±0.99^{bc}	6.58±0.84^{ab}	6.65±0.98^{ab}	6.95±0.78^{a}
Oil/Xanthan gum	25	6.78±0.92^{a}	6.88±1.11^{ab}	5.75±0.90^{d}	6.28±1.06^{bc}	5.88±1.02^{d}	6.60±0.87^{ab}
	50	6.35±0.96^{b}	6.13±1.14^{b}	6.20±0.97^{c}	5.90±1.17^{cd}	6.10±1.06^{cd}	6.35±1.00^{bc}
	75	5.98±1.00^{b}	5.55±0.99^{c}	5.70±1.11^{d}	5.53±1.22^{de}	6.25±0.90^{bcd}	6.08±1.00^{c}
	100	5.13±0.85^{c}	4.75±1.33^{d}	5.20±1.20^{e}	5.23±0.95^{e}	4.50±1.34^{e}	5.00±1.26^{d}
Oil/HPMC	25	6.10±1.15^{b}	6.53±1.43^{ab}	6.68±0.92^{b}	6.43±1.13^{b}	6.58±1.15^{bc}	6.08±1.33^{c}
	50	6.90±0.84^{a}	6.55±1.28^{ab}	7.15±1.08^{a}	6.98±0.86^{a}	7.13±0.99^{a}	6.95±1.04^{a}
	75	6.28±1.01^{b}	5.60±1.10^{c}	5.68±1.10^{d}	5.75±1.08^{d}	5.88±1.09^{d}	6.08±1.10^{c}
	100	5.50±1.20^{c}	5.48±1.09^{c}	5.68±1.02^{d}	5.25±1.53^{e}	4.68±1.40^{e}	5.05±1.40^{d}

หมายเหตุ : ^{a,b,c,d,e} ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95

4. ผลการศึกษาคุณภาพบิสกิตเพื่อสุขภาพ

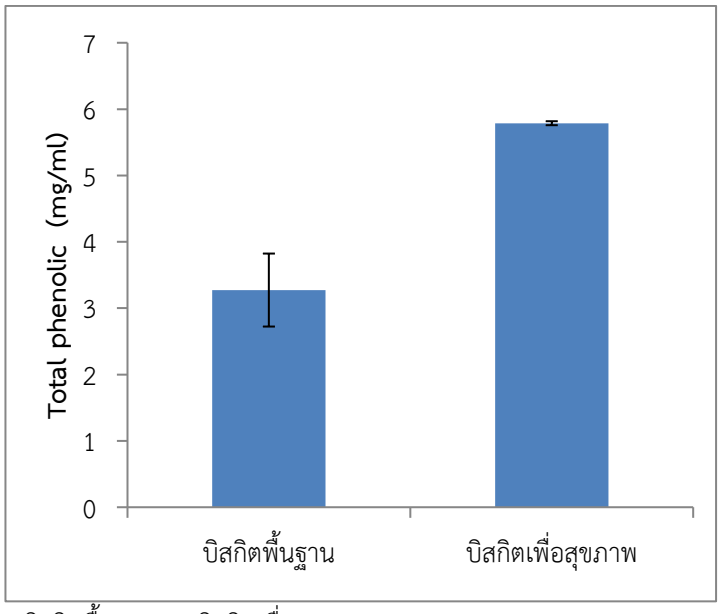
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของบิสกิตเพื่อสุขภาพซึ่งทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาร้อยละ 15 และทดแทนไขมันด้วยระบบ oil/HPMC ร้อยละ 50 เปรียบเทียบกับบิสกิตสูตรพื้นฐานผลิตด้วยแป้งสาลีและไขมัน พบว่า บิสกิตเพื่อสุขภาพมีปริมาณไขมันต่ำกว่าและมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 6) ปริมาณไขมันของบิสกิตลดลงจากเดิมร้อยละ 30.35 เป็นร้อยละ 20.37 ถึงแม้ว่าบิสกิตเพื่อสุขภาพจะมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 20.37 แต่เป็นแหล่งของไขมันคุณภาพดีจากน้ำมันงา ซึ่งมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูง และยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เช่น วิตามินอี (Uzun *et al*., 2007) และมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากบิสกิตสูตรพื้นฐานคิดเป็นร้อยละ 45 ดังนั้นสูตรบิสกิตนี้จึงเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของบิสบิตสูตรพื้นฐานและบิสกิตเพื่อสุขภาพ

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าองค์ประกอบทางเคมีของบิสกิต (ร้อยละฐานแห้ง)	
	สูตรพื้นฐาน	สูตรเพื่อสุขภาพ (ทดแทนด้วยแป้งงาและoil/HPMC)
ไขมัน	30.35±0.02[a]	20.37±1.66[b]
โปรตีน	7.58±0.13[b]	11.02±0.26[a]
เยื่อใย	0.44±0.26[a]	0.44±0.11[a]
เถ้า	1.60±0.03[b]	1.96±0.09[a]

หมายเหตุ : [a,b] ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95

ผลการศึกษาปริมาณฟีนอลิกซึ่งจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในบิสกิตสูตรพื้นฐานและบิสกิตเพื่อสุขภาพ พบว่า บิสกิตเพื่อสุขภาพมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐาน (ภาพที่ 3) เนื่องจากในงามีสารลิกแนนและลิกแนนไกลโคไซด์ซึ่งเป็นสารที่มีองค์ประกอบเป็นหมู่ฟีนอล (Kang *et al*., 1999) ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวบาร์เลย์ที่มีปริมาณฟีนอลิกมากกว่าข้าวสาลี (Sharma *et al*. 2014)



ภาพที่ 3 ปริมาณฟีนอลิกของบิสกิตพื้นฐานและบิสกิตเพื่อสุขภาพ

ผลการวิเคราะห์สมบัติต้านอนุมูลอิสระของบิสกิตเพื่อสุขภาพพบว่า บิสกิตเพื่อสุขภาพมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH สมบัติการรีดิวซ์ (reducing power) และสมบัติการจับโลหะ (metal chelating activity) สูงกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณฟีนอลิกที่สูงกว่า (ภาพที่ 3) แป้งงามีความสามารถให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสถียรจึงสามารถลดอนุมูลอิสระได้ (Khantaphant *et al*., 2011) แม้ว่าบิสกิตเพื่อสุขภาพจะมีสมบัติการจับอนุมูลอิสระ DPPH และ reducing power ในระดับต่ำ แต่มีสมบัติ metal chelating สูงกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐานมากเกือบ 5 เท่า (ตารางที่ 7) ดังนั้นการผลิตบิสกิตเพื่อสุขภาพมีส่วนผสมจากแป้งงาจึงช่วยเพิ่มสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 7 สมบัติต้านอนุมูลอิสระของบิสกิตสูตรพื้นฐานและบิสกิตเพื่อสุขภาพ

คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ	บิสกิตสูตรพื้นฐาน	บิสกิตเพื่อสุขภาพ
DPPH radical scavenging activity (% inhibition)	2.14±0.25[b]	12.67±3.64[a]
Reducing power	0.007±0.00[b]	0.018±0.00[a]
Metal chelating activity (%)	34.02±16.48[b]	167.47±43.95[a]

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาบิสกิตเพื่อสุขภาพโดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งงาที่เหมาะสมคือที่ร้อยละ 15 และการทดแทนไขมันเนยด้วยน้ำมันงารูป oil/gel ที่ร้อยละ 50 มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 45 และปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 32 และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ทดสอบ DPPH radical scavenging activity ค่า reducing power และ metal-chelating activity) สูงกว่าบิสกิตสูตรพื้นฐานที่ผลิตจากแป้งสาลีและไขมันเนย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ แจ้งชัด, อรอนงค์ นัยวิกุล, ธงชัย สุวรรณสิชณน์, ประชา บุญญสิริกุล และดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2544). การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเสริมโปรตีนและเส้นใยอาหาร, น.147-424 .

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่. (2547). พืชเศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชุติมา ศิริกุลชยานนท์. (2554). โทษของขนมขบเคี้ยว. แหล่งที่มา: http://santisakk.blogspot.com/2011/04/blog-post_5222.html.ค้นเมื่อ 21 เมษายน 2562.

ณัฐฐพร สุบรรณมณี. (2552). การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในการป้องกันการเกิดสเตลิ่งของมาม่อน เค้ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพ.

ณัฐธิดา มหาชัยราชัน กมลวรรณ แจ้งชัด และอนุวัตร แจ้งชัด. (2554). ผลของไฮโดรคอลลอยด์และความชื้นของส่วนผสมต่อคุณภาพของอาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าวกล้องงอก, น 398-405. *ใน* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. 1-4 ก.พ. 2554 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นราธิป ปุณเกษม. (2555). ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสเตลิงในขนมปัง. เทคโนโลยีการ อาหาร. 8(1): 12-20.

นิรนาม. (2560). อันตรายจากขนมคบเคี้ยว. แหล่งที่มา: http://www.edtechcreation.com/th/articles/42739-อันตรายจากขนมขบเคี้ยว. ค้นเมื่อ 21 เมษายน 2562.

พัชนีพรรณ พร้อมสมุด และพรพรรณ อุดทุม. (2550). การผลิตและคุณสมบัติเชิงหน้าที่โปรตีนงาจากกากงา. โครงงานค้นคว้าวิจัยของนักศึกษา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

รุจิรา ปรีชา สุนันทา วงศ์ปิยชน และงามชื่น คงเสรี. (2543). การใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้, น.48-85. *ใน* การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. สถาบันวิจัยข้าว ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.

ศิริชนก วิริยเอื้อกุล. (2561). กฎหมายควบคุมไขมันทรานส์. สำนักวิชาการ สำนักสภาผู้แทนราษฎร. แหล่งที่มา: http://www.parliament.go.th/library. 26 เมษายน 25612.

สุธิดา ปาลาพงศ์ และ สุพรรษา โพมบุญ. (2555). สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และสารต้านอนุมูล อิสระของโปรตีนไฮโดรไลเสทจากกากงา. โครงงานค้นคว้าวิจัยของนักศึกษา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

อริสรา รอดมุ้ย และ อรอุมา จิตรวโรภาส. (2550). การผลิตคุกกี้โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน. เทคโนโลยีการอาหาร. 3(1): 37-43.

AACC. (2000). American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 10th ed. The Association: St.Paul, Minnesota.

Ajila, C.M., Leelavathi, K. and Prasada Rao, U.J.S. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. Journal of Cereal Science. 48 : 319-326.

AOAC. (2000). Official method of analysis. Gaithersberg, MD:Association of Official Analytical Chemists.

Arshad, M. U., Anjum, F. M. and Zahoor, T. (2007). Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. Food Chemistry. 102: 123-128.

Carnell., S. Benson, L., Gibson, E.L., Mais, L.A. and Warkentin, S. (2017). Caloric compensation in preschool children: Relationships with body mass and differences by food category. Appetite, 116,pp.82-89.

Decker, E.A. and Welch, B. (1990). Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 38(3): 674-677.

Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C. and Attia, H. 2007. Quality characteristics of sesame seeds and byproducts. Food Chemistry., 103: 641-650.

Feldberg, C. (1969). Extrude starch-based snacks. Cereal Science. 4: 211-215.

Institute of Nutrition. (1998). Food composition database for inmucal program. Mahidol University. Bangkok, Thailand.

Inyang, U.E. and Iduh, A.O. (1996). Influence of pH and salt concentration on protein solubility, emulsifying and foaming properties of sesame protein concentrate. Journal of the American Oil Chemists' Society. 73(12): 1663-1667.

Kang, M.H., Kawai, Y., Naito, M. and Osawa, T. (1999). Dietary defatted sesame flour decrease suscerptibility to oxidative stress in hypercholesolemic rabbits. Journal of Nutrition. 129: 1885-1890.

Khantaphant, S., Benjakul, S. and Kishimura, H. (2011). Antioxidative and aceinhibitory activitirs of protein hydrolysate from the muscle of brownstripe red snapper prepared using pyloric caeca and commercial process. Biochemistry. 46: 318-327.

Laguna, L., Varela, P., Salvador, A., and Fiszman, S. (2013). A new sensory tool to analyse the oral trajectory of biscuits with different fat and fibre contents. Food Research International, 51(2), 544–553.

McWatters, K. H., Ouedraogo, J. B., Resurrection, A. V. A., Hung, Y. C. and Philips, R. D. (2003). Physical and sensory characteristics of sugar cookies containing mixtures of wheat,fonio *(Digitaria exilis)* and cowpea (*Vigna unguiculata*) flours. International Journal of Food Science and Technology. 38: 403.

Sharma,P.and Gujral,H.S. 2014. Cookie making behavior of wheat-barley flour blends and effects on antioxidant properties. LWT-Food Science and Technology.55: 301-307.

Shrestha, A. K. and Noomhorm, A. (2002). Comparison of physicochemical properties of biscuits supplemented with soy and Kinema flours. International Journal of Food Science and Technology. 37:361.

Tarancón, P., Fiszman, S.M., Salvador, A. and Tárrega, A. (2013). Formulating biscuits with healthier fats. Consumer profiling of textural and flavour sensations during consumption. Food Research International. 53: 134–140.

Uzun, B., Arslan, C., Karham, M. and Toker, C. (2007). Fat ang fatty acids of white lupin (*Lupinus Albus* L.) in comparison to sesame (*Sesamum indicum* L.). Food Chemistry. 102: 45-49.

Wu, H.C., Chen, H.M., and Shiau, C.Y. 2003. Free aminoacid and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel)*Scomber austriasicus*(. Food Research International. 36:949-957.

ความสัมพันธ์ระหว่างยีน *Soluble Starch Synthase II a (SSIIa)* กับลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกในข้าวพื้นเมืองอุบลราชธานี

ฉันทมาศ เชื้อแก้ว[1] สโรชา ผาท้าย[1] วิไลลักษณ์ อนันต์[1] และ สุรีพร เกตุงาม[1*]
[1]ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail : sureeporn.k@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งข้าวถูกควบคุมด้วยยีน *alkali degeneration* (*alk*) ทำหน้าที่สังเคราะห์เอนไซม์ *soluble starch synthase II a* (*SSIIa*): ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์อะไมโลแพคติน โดยควบคุมความยาวของสายอะไมโลแพคตินซึ่งส่งผลทำให้ข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกที่แตกต่างกัน อุณหภูมิแป้งสุกสามารถประเมินได้จากค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (Alkali spreading value, AVS) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวพื้นเมืองอุบลราชธานีโดยใช้เครื่องหมาย SNP2340-41 bi-PASA ที่พัฒนามาจากยีน *SSIIa* จากการศึกษาพบว่า ข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่จำนวน 17 พันธุ์ จากทั้งหมด 19 พันธุ์ มีแอลลีล *SSIIa*-TT สอดคล้องกับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง ซึ่งอยู่ในช่วง 5-7 บ่งชี้ว่าข้าวพื้นเมืองดังกล่าวมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ส่วนข้าวเล็บมือนาง และอีเกิ้ง มีแอลลีล *SSIIa*-GC สอดคล้องกับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3-4 บ่งชี้ว่ามีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลางถึงสูง ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องหมาย SNP2340-41 bi-PASA ในการจำแนกอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวได้อย่างแม่นยำ และสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดเลือกพันธุ์ข้าวให้มีอุณหภูมิแป้งสุกตามความต้องการได้

คำสำคัญ: ข้าวพันธุ์พื้นเมือง, อุณหภูมิแป้งสุก, ยีน *SSIIa*, เครื่องหมายดีเอ็นเอ, ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง

Association analysis between *Soluble Starch Synthase II a* (*SSIIa*) gene and gelatinization temperature of Ubon Ratchathai local rice varieties

Chantamart Chueakaew[1] Sarocha Patay[1] Wilailak Anan[1] and Sureeporn Katengam[1*]
[1]Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University
*E-mail: sureeporn.k@ubu.ac.th

Abstract

Gelatinization temperature (GT) of rice flour is controlled by *alkali degeneration* (*alk*) locus encoding *soluble starch synthase II a* (*SSIIa*) isoform. *SSIIa* plays an important role in amylopectin biosynthesis by regulating difference in amylopectin chain length profile associated with gelatinization properties of rice starch. The GT of rice starch can be measured indirectly by alkali spreading value (ASV). This research was aimed to study GT of Ubon Ratchathani local rice varieties using SNP2340-41 bi-PASA marker which developed from *SSIIa* gene. Out of 19 local rice varieties, 17 varieties displayed *SSIIa*-TT allele correspond to ASV, ranged from 5 to 7, indicating that these varieties have low GT. The other two varieties, Leb Meu Nahng and I Kueng revealed *SSIIa*-GC allele conform to ASV, ranged from 3 to 4, suggesting that these two varieties have intermediate to high GT. The result of this study clearly demonstrated that SNP2340-41 bi-PASA marker can be efficiently used to indicate GT of rice flour and will be useful in rice breeding program for selecting rice lines with favorable GT properties.

Keywords: Local rice variety, Gelatinization temperature, *SSIIa* gene, DNA markers, Alkali spreading value

บทนำ

อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญหนึ่งที่ใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว สามารถบ่งบอกถึงระยะเวลาในการหุงต้มของข้าว ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำช่วยลดระยะเวลาในการหุงต้มให้น้อยลง และประหยัดพลังงานที่ใช้ในการหุงต้มข้าวได้เป็นอย่างมาก (อรอนงค์, 2550; Fitzgerald et al., 2009) อุณหภูมิแป้งสุกถูกควบคุมด้วยยีน *soluble starch synthase II a* (*SSIIa*) ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับ *alkali degeneration* (*alk*) โดยมีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมที่ 6 ประกอบด้วย 8 เอกซอน 7 อินทรอน มีความยาวทั้งสิ้น 4,422 คู่เบส (Bao et al., 2006; Waters et al. 2006;) มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์อะไมโลแพคติน ทำให้สายอะไมโลแพคตินมีความยาวที่แตกต่างกัน (Umemoto et al. 2002; Luo et al. 2015) ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุกทั้งในข้าวจาโปนิกา อินดิกา และข้าวเหนียว (Shu et al., 2006; Xu et al., 2013) ลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกสามารถประเมินทางอ้อมได้จากการสลายตัวของเมล็ดข้าว (alkali spreading value, AVS) ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ (1.7% potassium hydroxide [KOH]) แป้งข้าวที่อะไมโลแพคตินสายสั้นจะมีความสามารถในการสลายตัวในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ง่ายกว่าแป้งข้าวที่มีอะไมโลแพคตินสายยาว (Katengam et al., 2008) ถ้าหากเมล็ดข้าวมีการสลายตัวได้ดี แสดงว่ามีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ส่วนเมล็ดข้าวที่มีการสลายตัวน้อยหรือไม่มีการสลายตัว แสดงว่าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง-สูง (Juliano and Villareal, 1993; Bao et al., 2006)

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องหมาย single nucleotide polymorphism (SNP) ของยีนสำคัญทางเศรษฐกิจมากมาย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดเลือกพันธุ์ข้าวในลักษณะต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ Katengam et al. (2008) ได้พัฒนาเครื่องหมาย SNP2340-41 ซึ่งเป็นเครื่องหมายโมเลกุลชนิด bi-directional polymerase chain reaction amplification of specific alleles (bi-PASA) markers ใช้ในการจำแนกข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่างกันได้ โดยพัฒนามาจาก dinucleotide SNP ตรงตำแหน่ง 2340-2341 ใน exon 8 ของยีน *SSIIa* ที่เกิดการแทนที่ของนิวคลีโอไทป์ GC ในข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง-สูง ไปเป็นนิวคลีโอไทป์ TT ในข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนจากลิวซีน (leucine) ในข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง-สูง ไปเป็นฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ในข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เครื่องหมาย SNP2340-41 ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดเลือกในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำอย่างกว้างขวาง (Win et al. 2013; Swar Oo et al. 2015; สุรีพร และคณะ, 2558) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวโดยใช้เครื่องหมาย SNP2340-41 และการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่างในข้าวพื้นเมืองอุบลราชธานี ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวจากฐานพันธุกรรมข้าวพื้นเมืองและ การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวพื้นเมืองต่อไป

วิธีการวิจัย

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษาและการสกัดดีเอ็นเอ

เก็บรวบรวมข้าวพื้นเมืองในจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 19 พันธุ์ และข้าวพันธุ์ตรวจสอบลักษณะอุณหภูมิแป้งสุก จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105, ชัยนาท 1, กข23 และ IR57514 นำมาปลูก ณ แปลงฝึกทดลองพืชไร่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อข้าวอายุ 3 สัปดาห์ ทำการเก็บใบอ่อนเพื่อใช้สกัดดีเอ็นเอ โดยใช้ Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) based method ซึ่งประยุกต์มาจากวิธีการสกัดดีเอ็นเอของ Doyle and Doyle (1990)

การวิเคราะห์ยีน *SSIIa* ที่ควบคุมลักษณะอุณหภูมิแป้งสุก

การวิเคราะห์ยีน *SSIIa* ที่ควบคุมลักษณะอุณหภูมิแป้งสุก โดยใช้เครื่องหมาย SNP2340-41 ตามวิธีการของ Katengam et al. (2008) สำหรับองค์ประกอบของพีซีอาร์ ประกอบด้วย ดีเอ็นเอต้นแบบ ความเข้มข้น 10 นาโนกรัม, 5xFIREPol® Master Mix Ready to Load (Solis BioDyne), 0.2 µM primer Q (5'-GGCGGACATGGTCTCTTC-3'), 0.2 µM primer P (5'-GACGGGCAGAAAGGTGTG-3'), 0.4 µM primer TT (5'-ATGCCGCGCACCTGGAAA-3'), 0.4 µM primer GC (5'-AGGAGAGCTGGAGGGGGC-3'), 1 unit GoTaq® DNA Polymerase (Promega) และปรับปริมาตรด้วย sterilized distilled water จนได้ปริมาตรสุดท้าย 10 ไมโครลิตร อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาพีซีอาร์ มีรายละเอียดดังนี้ Pre-denaturation

ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ตามด้วย 40 รอบ ของ Denature ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที Annealing ที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที และ Extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และ Final extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที หลังจากนั้นนำ PCR product มาแยกขนาดดีเอ็นเอใน 1.5% อะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซีส

การประเมินลักษณะอุณหภูมิแป้งสุก

การประเมินลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวทางอ้อม โดยประเมินการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ (1.7% KOH) วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้เมล็ดข้าวสาร จำนวน 10 เมล็ด/ซ้ำ วางลงในจานเพาะ (Petri dish) เติมสารละลาย 1.7% KOH ให้เมล็ดข้าวจมในสารละลาย ปิดฝาทิ้งไว้ 23 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เกณฑ์การให้คะแนนค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลาย 1.7% KOH แบ่งเป็น 7 ระดับ ดังนี้ ระดับ 1 หมายถึง เมล็ดข้าวไม่เปลี่ยนแปลงเลย, ระดับ 2 หมายถึง เมล็ดข้าวพองตัว, ระดับ 3 หมายถึง เมล็ดข้าวพองตัวและมีแป้งกระจายออกมาจากบางส่วนของเมล็ดข้าว, ระดับ 4 หมายถึง เมล็ดข้าวพองตัวและมีแป้งกระจายออกมารอบเมล็ดข้าวเป็นบริเวณกว้าง, ระดับ 5 หมายถึง ผิวของเมล็ดข้าวปริทางขวางหรือทางยาว และมีแป้งกระจายออกมารอบเมล็ดเป็นบริเวณกว้าง, ระดับ 6 หมายถึง เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดทั้งเมล็ดมีลักษณะเป็นเมือกขุ่นขาว และ ระดับ 7 หมายถึง เมล็ดข้าวสลายตัวทั้งเมล็ดและมีลักษณะเป็นแป้งเมือกใส (อรอนงค์, 2550; IRRI, 2013) การจัดกลุ่มค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลาย 1.7% KOH ได้แก่ ระดับ 1-3 คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง (74.5-80 °C), ระดับ 4-5 คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง (70-74 °C) ระดับ 6-7 คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (<70 °C) (Little et al. 1958; Katengam et al., 2008)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมาย SNP2340-41 กับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลาย 1.7% KOH โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ STAR-statistical tool for agricultural research (version 2.0.1) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) Test

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การใช้เครื่องหมาย SNP2340-41 ตรวจสอบยีน *SSIIa*

จากการตรวจสอบยีน *SSIIa* ที่ควบคุมอุณหภูมิแป้งสุกในข้าวพื้นเมือง ด้วยเครื่องหมาย SNP2340-41 พบว่าข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่จำนวน 17 พันธุ์ (ตารางที่ 1) จากจำนวนทั้งหมด 19 พันธุ์ (คิดเป็นร้อยละ 89.5) แสดงแถบดีเอ็นเอขนาด 550, 458 คู่เบส มีรูปแบบ SNP ที่ตำแหน่ง 2340-2341 เป็นแอลลีล *SSIIa*-TT เหมือนกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท 1 ที่มีแอลลีล *SSIIa*-TT บ่งชี้ว่าข้าวพื้นเมืองดังกล่าวมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ในขณะที่ข้าวเล็บมือนาง และอีเกิ้ง แสดงแถบดีเอ็นเอขนาด 550, 126 คู่เบส มีรูปแบบ SNP ที่ตำแหน่ง 2340-2341 เป็นแอลลีล *SSIIa*-GC เหมือนกับข้าว กข23 และ IR57514 ที่มีแอลลีล *SSIIa*-GC บ่งชี้ว่าข้าวพื้นเมืองทั้งสองพันธุ์มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง-สูง

การประเมินลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าว

การประเมินลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวโดยใช้ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าว (alkali spreading value, AVS) ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ (1.7% KOH) ในข้าวพื้นเมือง จำนวน 19 พันธุ์ พบว่าข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่ จำนวน 17 พันธุ์ มีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลาย 1.7% KOH อยู่ในช่วง 5-7 ไม่แตกต่างทางสถิติกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท 1 ที่เป็นข้าวพันธุ์ตรวจสอบอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ แต่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กับข้าว กข23 และ IR57514 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ตรวจสอบอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง ส่วนข้าวเล็บมือนาง และอีเกิ้ง มีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลาย 1.7% KOH อยู่ในช่วง 3-4 ไม่แตกต่างทางสถิติกับข้าวพันธุ์ กข23 และ IR57514 แต่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท 1 ที่เป็นข้าวพันธุ์ตรวจสอบอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (ตารางที่ 1) ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ วราภรณ์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาในข้าวพื้นเมืองของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน จำนวน 344 ตัวอย่าง พบว่า ข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่ คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของข้าวที่ศึกษา มีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลาย 1.7% KOH อยู่ในช่วง 5-7 บ่งชี้ว่ามีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

ซึ่งผลจากค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลาย 1.7% KOH มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ให้แป้งข้าวกลายเป็นเจล ค่าดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการประเมินระยะเวลาในการหุงต้มข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้

ความสัมพันธ์ระหว่างยีน *SSIIa* กับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (1.7% KOH)

ความผันแปรของยีน *SSIIa* (SNP-GC/ SNP-TT) มีความสัมพันธ์กับลักษณะอุณหภูมิแป้งสุก สามารถนำมาใช้ในการจำแนกข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ และข้าวอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง-สูง ออกจากกันได้ จากการศึกษา พบว่า การตรวจสอบยีน *SSIIa* โดยเครื่องหมาย SNP2340-41 สามารถจำแนกข้าวพื้นเมืองได้เป็นสองกลุ่ม คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ จำนวน 17 พันธุ์ มีแอลลีล *SSIIa*-TT และข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเล็บมือนาง และอีเกิ้ง มีแอลลีล *SSIIa*-GC (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (1.7% KOH) โดยข้าวที่มีแอลลีล *SSIIa*-TT จะมีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (1.7% KOH) อยู่ในช่วง 5-7 ส่วนข้าวที่มีแอลลีล *SSIIa*-GC จะมีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (1.7% KOH) อยู่ในช่วง 3-4 (ภาพที่ 1) ผลจากการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับ สุรีพร และคณะ (2553) ได้รายงานผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยีน *SSIIa* กับอุณหภูมิแป้งสุกในข้าวพื้นเมืองภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 144 พันธุ์ พบว่า คิดเป็นร้อยละ 80 ของข้าวพื้นเมืองภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (115 พันธุ์) มีแอลลีลของยีน *SSIIa* เป็นแบบ TT สอดคล้องกับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง (1.7% KOH) อยู่ในช่วง 4-7 แสดงให้เห็นว่าข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ ยุพเยาว์ และคณะ (2561) ที่ได้รายงานผลการศึกษาความสัมพันธ์ของยีน *SSIIa* กับลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกในข้าวไทย พบว่า ข้าวไทยส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษามีแอลลีลของยีน *SSIIa* เป็นแบบ TT คิดเป็นร้อยละ 76 ซึ่งมีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง (1.7% KOH) อยู่ในช่วง 6-7 (โดยส่วนใหญ่มีค่า 7) สูงกว่าข้าวที่มีแอลลีลของยีน *SSIIa* เป็นแบบ GC ซึ่งมีค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง (1.7% KOH) อยู่ในช่วง 4-6 (โดยส่วนใหญ่มีค่า 5) บ่งชี้ว่าข้าวที่มี SNP-TT มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำกว่าข้าวที่มี SNP-GC ผลจากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ข้าวพื้นเมืองในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกต่ำนั้นได้รับการยอมรับและเป็นที่ชื่นชอบของคนในท้องถิ่น จึงทำให้ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำถูกคัดเลือกและคงไว้ในพันธุ์ข้าวพื้นเมืองมาจนถึงปัจจุบัน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยีน *SSIIa* ควบคุมลักษณะอุณหภูมิแป้งสุก โดยใช้เครื่องหมาย SNP2340-41 เปรียบเทียบกับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (1.7% KOH) พบว่า เครื่องหมาย SNP2340-41 สามารถใช้เป็นเครื่องหมายโมเลกุลในการบ่งชี้ลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ จะมีแอลลีลแบบ *SSIIa*-TT และข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลางถึงสูง จะมีแอลลีลแบบ *SSIIa*-GC เครื่องหมาย SNP2340-41 สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดเลือกในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีอุณหภูมิแป้งสุกตามความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

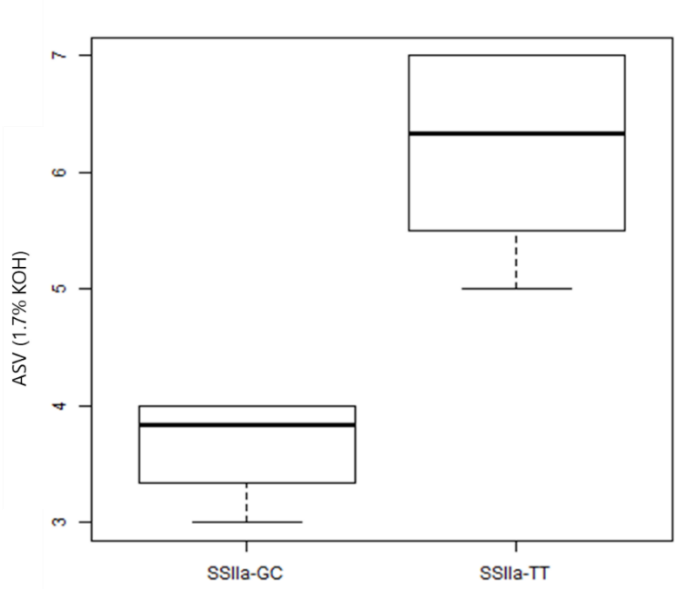
งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และขอขอบคุณ คุณนพมาศ นามแดง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้าวพื้นเมืองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 1 การตรวจสอบลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกโดยเครื่องหมาย SNP2340-41 เปรียบเทียบกับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง 1.7% KOH ในข้าวพื้นเมืองอุบลราชธานี จำนวน 19 พันธุ์ และข้าวพันธุ์ตรวจสอบ จำนวน 4 พันธุ์

ชื่อพันธุ์ข้าว	แถบดีเอ็นเอ (bp)	แอลลีล *SSIIa*	อุณหภูมิแป้งสุก	ค่าเฉลี่ย ASV (1.7% KOH)
ข้าวพื้นเมือง				
1. เขี้ยวงู	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	5.67±0.57
2. หมากเข็ง	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	5.33±0.57
3. เจ้าแดง	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	7.00±0.00

ชื่อพันธุ์ข้าว	แถบดีเอ็นเอ (bp)	แอลลีล *SSIIa*	อุณหภูมิแป้งสุก	ค่าเฉลี่ย ASV (1.7% KOH)
4. เจ้าเหลือง	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	7.00±0.00
5. ก่ำน้อย	550, 126	*SSIIa*-TT	Low GT	5.33±0.57
6. ก่ำดอ	550, 126	*SSIIa*-TT	Low GT	5.33±0.57
7. งวงช้าง	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	6.33±0.57
8. เหนียวมะลิ	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	6.00±0.00
9. เล็บมือนาง	550, 450	*SSIIa*-GC	Intermediate GT	3.67±0.57
10. อีตมดอ	550, 126	*SSIIa*-TT	Low GT	5.00±0.00
11 อีเกิ้ง	550, 450	*SSIIa*-GC	Intermediate GT	4.00±0.00
12. อีตม	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	5.33±0.57
13. มะลิพื้นบ้าน	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	7.00±0.00
14. ก่ำเปลือกขาว	550, 126	*SSIIa*-TT	Low GT	6.67±0.57
15. อีเตี้ย	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	6.00±0.00
16. ป้องแอ้ว	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	6.67±0.57
17. สันป่าตอง	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	5.67±0.57
18. โสมาลี	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	7.00±0.00
19. หอมภูพาน	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	7.00±0.00
ข้าวพันธุ์ตรวจสอบ				
20. ขาวดอกมะลิ 105 (low GT)	550, 126	*SSIIa*-TT	Low GT	7.00±0.00
21. ชัยนาท 1 (low-intermediate GT)	550, 450	*SSIIa*-TT	Low GT	7.00±0.00
22. กข23 (intermediate GT)	550, 126	*SSIIa*-GC	Intermediate GT	3.00±0.00
23. IR57514 (intermediate GT)	550, 126	*SSIIa*-GC	Intermediate GT	3.67±0.57
P-value				**
%CV				6.92
LSD (0.01)				0.87
LSD (0.05)				0.65
Mean[1/]				5.89
SD[2/]				0.29

หมายเหตุ: ** = ความแตกต่างทางสถิติที่ 99%, [1/] Mean = ค่าเฉลี่ยการสลายตัวในสารละลายด่าง 1.7% KOH ของข้าวพื้นเมือง จำนวน 19 พันธุ์, [2/] SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าเฉลี่ยการสลายตัวในสารละลายด่าง 1.7% KOH ของข้าวที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 1 การจัดกลุ่มค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ (1.7% KOH) ของข้าวพื้นเมืองอุบลราชธานี จำนวน 19 พันธุ์ ตามแอลลีลของยีน *SSIIa* (*SSIIa*-GC และ *SSIIa*-TT)

เอกสารอ้างอิง

ยุพเยาว์ คบพิมาย ช่อทิพา สกูลสิงหาโรจน์ และวราภรณ์ แสงทอง. (2561). การพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอเพื่อใช้ตรวจสอบสนิปส์ของยีน *SSIIa* ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุกในข้าวไทย. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(3), 282-292.

สมทรง โชติชื่น เกษม สุนทราจารย์ พีรพล ม่วงงาม วาสนา พันธุ์เพ็ง กัญญา เชื้อพันธุ์ สุนันทา วงศ์ปิยชน วัชรี สุขวัฒน์ อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ ปรีดา เสียงใหญ่ สุวัฒน์ เจียระคงมั่น และ ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์. (2555). *แหล่งพันธุกรรมข้าวกับการใช้ประโยชน์*. ใน: การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2. วันที่ 21-23 ธันวาคม. กรุงเทพฯ. 48-52.

สุรีพร เกตุงาม และ กาญจนา คุ้มทรัพย์. (2553). *การสำรวจการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ท้องถิ่น*. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม). อุบลราชธานี: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สุรีพร เกตุงาม อุไรวรรณ คชสถิตย์ ชัชวาล จันทราสุริยารัตน์ และ จันทนี อุริยพงศ์สรรค์. (2553). *การสืบค้นหายีนที่ควบคุมลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจของข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยโดยใช้ดีเอ็นเอเทคโนโลยี*. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). อุบลราชธานี: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สุรีพร เกตุงาม จิรพงศ์ ใจรินทร์ อุไรวรรณ คชสถิต และสุกัญญา คลังสินศิริกุล. (2558). *การพัฒนาสายพันธุ์ข้าว Jasmine IR57514 ให้ต้านทานโรคไหม้และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก*. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). อุบลราชธานี: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

วราภรณ์ กันทะวงค์ ศันสนีย์ จำจด นริศ ยิ้มแย้ม และชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย. (2558). ความแปรปรวนของคุณภาพการหุงต้มในข้าว พันธุ์พื้นเมืองจากจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน. *แก่นเกษตร*, 43(4), 687-698.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

Bao, J.S., H. Corke and M. Sun. (2006). Nucleotide diversity in *starch synthase IIa* and validation of single nucleotide polymorphism in relation to starch gelatinization temperature and other physicochemical properties in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 113 (7), 1171-1183.

Doyle, J.J. and J.L. Doyle. (1990). Isolation of plant DNA from tissue. *Focus*, 12(1), 13-15.

Fitzgerald, M.A., S.R. McCouch and R.D. Hall. (2009). Not just a grain of rice: The quest for quality. *Trends Plant Science*, 14(3), 133-139.

IRRI. (2013). Alkali digestion. *Standard evaluation system (SES) for rice*, 5th edition. Los Banos, Manila, Philippines: International Rice Research Institute (IRRI); 2013. p. 46

Juliano, B.O. and C.P. Villareal. (1993). *Grain quality evaluation of world rices*. International Rice Research Institute, Manila. 218 p.

Kate-ngam, S., W. Kimchaiyong, S. Wanchana and T. Toojinda. (2008). *Association analysis and functional marker development of soluble starch synthasella (SSIIa) and gelatinization properties in Thai rice*. In Proceeding of the 5th International Crop Science Congress & exhibition: Recognizing Past Achievements, Meeting Future Needs. April 13-18, 2008. International Convention Center, Jeju, Korea. 1-4.

Luo, J., S.A. Jobling, A. Millar, M.K Morell and Z. Li. 2015. Allelic effects on starch structure and properties of six starch biosynthetic genes in a rice recombinant inbred line population. *Rice*, 8:15.

Little, R.R., G.B. Hilder and E.H. Dawson. (1958). Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chemistry*, 35(2), 111-126.

Shu, X.L., S.Q. Shen, J.S. Bao, D.X. Wu, Y. Nakamura and Q.Y. Shu. (2006). Molecular and biochemical of the gelatinization temperature characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) starch granules. *Journal of Cereal Science*, 44(1), 40-48.

Swar Oo, K., A. Kongjaimun, S. Khanthong, M. Yi, T.T. Myint, S. Korinsak, J.L. Siangliw, K.M Myint, A. Vanavichit, C. Malumpong and T. Toojinda. (2015). Characterization of Myanmar Paw San Hmwe accessions using functional genetic markers. Rice Science, 22(2), 53–64.

Umemoto, T., M. Yano, H. Satoh, A. Shomura and Y. Nakamura. (2002). Mapping of a gene responsible for the difference in amylopectin structure between japonica-type and indica-type rice varieties. *Theoretical and Applied Genetics*, 104(1), 1-8.

Waters, D.L.E., R.J. Henry, R.F. Reinke and M.A. Fitzgerald. (2006). Gelatinization temperature of rice explained by polymorphisms in starch synthase. *Plant Biotechnology Journal*, 4(1), 115–122.

Win, K.M. S. Korinsak, P. Sirithunya, J.L. Siangliw, W. Jamboonsri, T. Da, S. Patarapuwadol and T. Toojinda. (2013). Marker assisted introgression of multiple genes for bacterial blight resistance into aromatic Myanmar rice MK-75. *Field Crops Research*, 154, 164–171.

Xu, F., G. Zhang, C. Tong, X. Sun, H. Corke, M. Sun and J. Bao. (2013). Association mapping of starch physicochemical properties with starch biosynthesizing genes in waxy rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), 10110-10117.

ผลของอายุใบมะละกอต่อปริมาณสารพฤกษเคมี

ธัญญารัตน์ ชุ่มหมื่นไวย์[1*] ทินน์ พรหมโชติ[1] และ กาญจนา รุ่งรัชกานนท์[1]
[1]ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail : thanyarat.ch.59@ubu.ac.th)

บทคัดย่อ

มะละกอเป็นผลไม้เขตร้อนที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดปี โดยใบของมะละกอจะประกอบไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน อัลคาลอยด์ เป็นต้น ยังพบว่ามีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ต้านการเกิดมะเร็ง เนื้องอก ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและช่วยสมานแผล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของใบมะละกอ 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 (ใบอ่อน) ระยะที่ 2 (ใบแก่) และระยะที่ 3 (ใบแก่มาก) ผลการศึกษาพบว่า ใบมะละกอทั้ง 3 ระยะ มีความแตกต่างกัน โดยระยะที่ 3 ใบแก่มาก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 11.64 mg GAE/g FW สารประกอบฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 18.69 mg CE /g FW และวิตามินซีเท่ากับ 25.94 mg ascorbic acid/100 g FW นอกจากนี้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันวิธี DPPH free radical scaenging และวิธี CUPRAC ในใบมะละกอระยะที่ 2 และระยะที่ 3 มีค่าค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน โดยวิธี DPPH มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ 13.27% และ 10.88% ตามลำดับ ส่วนวิธี CUPRAC ในใบมะละกอระยะที่ 2 และระยะที่ 3 มีค่าเท่ากับ 43.31 และ 48.63 mg TE /100 g FW ตามลำดับ จากผลการทดลองทำให้เลือกใช้ใบมะละกอในระยะการพัฒนาต่างๆ ได้เหมาะสมกับปริมาณสารพฤกษเคมีที่มี โดยเมื่อใบมีระยะการพัฒนามากขึ้น ปริมาณสารสำคัญต่างๆ ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

คำสำคัญ: ใบมะละกอ สารพฤกษเคมี ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน

Effect of Leaves Age in Papaya (*Carica papaya* L.) on Phytochemical Content.

Thanyarat Chummuenwai[1]* ,Thin Promchot[1] and Karnchana Rungruchkanont[1]
[1]Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University
*E-mail : thanyarat.ch.59@ubu.ac.th

Abstract

Papaya is a tropical fruit that can be harvested throughout the year. The papaya leaves contain phenolic compounds, flavonoid compounds, saponin, alkaloids, etc. Also In addition, it has been found that bioactive compounds have antimicrobial activity, inflammatory, cancer, tumors reduce the risk of heart disease and help heal wounds. The objective of this research is to study the evaluate phytochemical and antioxidant activity of 3 papaya leaves: phase 1 (young leaves), phase 2 (mature leaves) and phase 3 (very mature leaves). The results showed that the 3 papaya leaves were different. The third phase is very mature leaves had total phenolic compounds is 11.64 mg GAE/g FW, total flavonoids compound is 18.69 mg CE /g FW and vitamin C is 25.94 mg ascorbic acid/100 g FW. In addition, Antioxidant activity determined by DPPH and CUPRAC in papaya leaf phase 2 and phase 3 is also quite high. DPPH method has inhibition 13.27% and 10.88% respectively. CUPRAC method in papaya leaf phase 2 and stage 3 is 43.31 and 48.63 mg TE / 100 g FW respectively. From the experimental results, papaya leaves were selected in various development stages appropriately for phytochemicals. When the leaves have more development stages various important substances will increase as well.

Keywords: leaves papaya, phytochemical, antioxidant activity

บทนำ

มะละกอ (*Carica papaya* L.) อยู่ในวงศ์ Caricaceae เป็นผลไม้เขตร้อนที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดปี และยังอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะผลสุกซึ่งมีปริมาณวิตามินซี และแคโรทีนอยด์สูงกว่าผลดิบ (Yogiraj et al., 2014) นอกจากคุณค่าทางอาหารที่พบในผลมะละกอแล้ว ใบมะละกอยังจะมีสารพฤกษเคมีหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อการรักษาโรคต่างๆ เช่น ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ (Runnie et al., 2004) ช่วยสมานบาดแผล (Mahmood and Salmah, 2005) ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Owoyele et al., 2008) ต้านการเกิดมะเร็ง เนื้องอก (Otsuki et al., 2010) ฤทธิ์ในการต้านจุลชีพ (Baskaran et al., 2012) จากคุณประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นในใบมะละกอทำให้ได้รับความสนใจ และมีโอกาสในการนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นดังคุณสมบัติที่กล่าวมา

ระยะการพัฒนาของใบพืชมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีชนิดต่างๆ เช่น นิภาพร และจำรูญ (2557) ประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากส่วนของยอด ใบอ่อน และใบแก่ของทุเรียน 10 สายพันธุ์ และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhdrazyl (DPPH) การประเมินความสามารถในการจับกับโลหะและปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม พบว่า สารสกัดจากใบทุเรียน มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยใบอ่อนทุเรียนพันธุ์กบเจ้าคุณ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เมื่อทดสอบความสามารถในการจับกับโลหะ พบว่า สารสกัดเอทานอลจากใบทุเรียนทั้ง 10 พันธุ์ มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน ซึ่งสารสกัดเอทานอลจากใบแก่ทุเรียนพันธุ์กำปั่นตาเพ็งมีความสามารถในการจับกับโลหะมากที่สุด และจากการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม พบว่า สารสกัดเอทานอล จากส่วนยอดทุเรียนพันธุ์เมล็ดคชสารมีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมเท่ากับ 2186.70 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อใบแห้ง 100 กรัม ภานุวัฒน์และคณะ (2560) ศึกษาระยะการพัฒนาของใบสด 3 ระยะ ได้แก่ ใบอ่อน ใบเพสลาด และใบแก่ ในมะนาวโห่ต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า เมื่อใบมะนาวโห่มีระยะพัฒนาการเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารพฤกษเคมีต่างๆ เพิ่มขึ้นด้วย โดยใบแก่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ความเป็นกรด วิตามินซี น้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP สูงที่สุด ระยะใบอ่อนให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH มากที่สุด และระยะใบเพสลาดให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS มากที่สุด สำหรับการศึกษาถึงชนิดและปริมาณสารสำคัญที่พบในใบมะละกอ พบว่าเป็นแหล่งสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ที่มีความสำคัญ ได้แก่ แอนทราควิโนนไกลโคไซด์ (anthroquinone glycoside) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) อัลคาลอยด์ (alkaloid) แทนนิน (tannin) สเตียรอยด์ (steroids) เป็นต้น (Imaga et al., 2010; Vuong et al., 2013; Vij and Prashar, 2015) จากสารสำคัญที่พบในใบมะละกอจึงมีความสำคัญไม่เพียงแต่ให้ประโยชน์ด้านการรักษาโรค แต่ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพืช การนำใบมะละกอมาใช้ประโยชน์กลับได้รับความสนใจค่อนข้างน้อย จะมีก็แต่เพียงการนำมาใช้เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรืออาจนำไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ เป็นต้น หากมีการนำใบมะละกอไปพัฒนาต่อยอดในด้านต่างๆ เช่น ด้านเภสัชกรรม ด้านอาหาร ด้านสุขภาพและด้านเครื่องสำอาง อาจเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของใบมะละกอ 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 (ใบอ่อน) ระยะที่ 2 (ใบแก่) และระยะที่ 3 (ใบแก่มาก)

วิธีการวิจัย

การเก็บตัวอย่างใบมะละกอ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มีระยะการพัฒนาของใบมะละกอ 3 ระยะ เป็นทรีทเมนต์ ประกอบด้วย ระยะที่ 1 ใบอ่อน (ใบที่นับจากปลายยอดข้อที่ 8 และ 9) ระยะที่ 2 ใบแก่ (ใบที่นับจากปลายยอดข้อที่ 10 และ 11) และระยะที่ 3 ใบแก่มาก (ใบที่นับจากปลายยอดข้อที่ 12-14) ในมะละกอสายพันธุ์เหลืองกระบี่ จำนวน 5 ซ้ำ (ต้น) โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 07:00 - 08:00 น. จากนั้นนำมาทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้งแล้วใช้แผ่นเทียบสี (color chart) (Royal Horticultural Society, England) วัดสีใบแต่ละระยะเพื่อศึกษาค่าสีและนำไปใช้เป็นดัชนีในการกำหนดระยะการเลือกใบมะละกอ โดยมีการแปลงค่าสีจากแผ่นเทียบสีให้เป็นค่าสีในระบบ L*, a*, b (http://rhscf.orgfree.com/c.htm) ตัดใบเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อวิเคราะห์สารพฤกษเคมี โดยแบ่งตัวอย่างแต่ละระยะใบชั่งน้ำหนักที่แน่นอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การสกัดสารจากใบมะละกอ

ดัดแปลงวิธีการสกัดสารจากวิธีของ Vuong et al. (2013) นำตัวอย่างใบ 10 กรัม มาสกัดด้วย absolute ethanol ปริมาตร 100 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Homogenizer แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารสกัดที่ได้มากรอง

ผ่านด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น และกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No. 1) แล้วนำไประเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporation) อุณหภูมิ 65 °C จนตัวทำละลายระเหยออกจนหมด นำสารสกัดที่ได้บรรจุใส่ถุงซิปพลาสติก ชั่งน้ำหนักของสารสกัดหยาบ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C แล้วนำไปตรวจสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และการตรวจสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ วิธี CUPRAC

การตรวจสอบปริมาณสารพฤกษเคมี

1. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (total phenolic content) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ดัดแปลงจาก Slinkard and Singleton (1997) ใช้กรดแกลลิก (gallic acid; GAE) เป็นสารมาตรฐาน ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก 250 µl เติมสารละลาย 10% Folin-Ciocalteus reagent 1250 µl ผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืด 8 min จากนั้นเติม 7.5% Na_2CO_3 1000 µl ผสมสารให้เข้ากัน บ่มในที่มืด 2 hr เมื่อครบกำหนดนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer ทำการทดลอง 5 ซ้ำ และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ในหน่วย mg GAE/g FW

2. การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (total flavonoid content) ดัดแปลงจากวิธีของ Zhisen *et al*. (1999) ใช้คาเทชิน (catechin; CE) เป็นสารมาตรฐาน ปิเปตสารละลายมาตรฐานคาเทชิน 0.5 ml เติมน้ำกลั่น 2 ml เติมสารละลาย 5% $NaNO_2$ 0.15 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 min เติมสารละลาย 10% $AlCl_3$ 0.15 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 min เติมสารละลาย 4% NaOH ปริมาตร 2 ml และน้ำกลั่น 0.7 ml ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ และหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของสารตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานคาเทชิน ในหน่วย mg CE/ g FW

3. การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) ตามวิธีของ AOAC (2000) ใบสด 5 g เติมน้ำกลั่น 15 ml นำไป Homogenizer กรองสารด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำการวิเคราะห์โดยการเติมสารละลาย 3% Metaphosphoric acid (HPO_3) ใน 8% glacial acetic acid ปริมาตร 5 ml ลงใน Erlenmeyer flask แล้วเติมน้ำคั้นตัวอย่างใบมะละกอที่เตรียมไว้ลงไป 2 ml เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปไตรเตรทด้วยสารละลาย 0.02% 2,6-dichlorophenol sodium salt จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู ที่มีความเข้มใกล้เคียงกับวิตามินซีมาตรฐาน บันทึกปริมาตรของสาร B ที่ใช้ไตเตรท แล้วนำมาคำนวณปริมาณวิตามินซี ตามสูตร

ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมแอสคอบิคแอซิค/ 100 กรัมน้ำหนักสด) = [(X-B) (F/E) (V/Y)] x 100

โดย X = ปริมาณของสารที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (ml)

B = ค่าเฉลี่ยของสาร dye ที่ใช้ไตเตรทกับ blank (ml))

F = mg equivalent ascorbic acid/ 1 ml. Dye solution

E = ปริมาณสารมาตรฐานที่ใช้ไตเตรท (ml)

V = ปริมาณสารละลายที่ใช้ไตเตรท (ml)

Y = ปริมาตรสารละลายทั้งหมดที่นำมาไตเตรท (ml)

4. การวิเคราะห์หาปริมาณอัลคาลอยด์ (alkaloid) ดัดแปลงจากวิธีของ Arora et al. (2012) โดยเตรียมตัวอย่างใบสดของมะละกอ 5 g เติม 10% CH_3CO_2H in C_2H_5OH ปริมาตร 200 ml ผสมให้เข้ากัน บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 hr เมื่อครบกำหนดนำมากรองสารด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำสารละลายส่วนใสที่ได้ไประเหยสารออกให้เหลือปริมาณสาร ¼ ของปริมาตรเดิม ใน water bath อุณหภูมิไม่เกิน 65 °C จากนั้นนำมาเติม Conc. NH_4OH จนสารละลายเริ่มนอนก้นหรือมี pH ~9 เมื่อสารละลายเซ็ตตัว ทำการเก็บตะกอนแล้วล้างตะกอนด้วยการเจือจางของของสารละลาย 1% NH_4OH นำมากรองสารด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 รอให้ตัวอย่างแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างและนำไปคำนวณน้ำหนัก

5. การตรวจสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันวิธี DPPH free radical scavenging ดัดแปลงจากวิธีของ Thaipong et al. (2006) โดยใช้โทรล็อก (trolox) เป็นสารมาตรฐาน ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรล็อก 50 µl ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น $6x10^{-5}$ M ปริมาตร 950 µl เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง 30 min จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer ทำการทดลอง 5 ซ้ำ และตรวจสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารตัวอย่าง แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง จากสูตร

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{\text{A control} - \text{A sample}}{\text{A control}} \times 100$$

โดยที่

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัด

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของสารเอทานอล

6. การตรวจสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี CUPRAC ดัดแปลงจากวิธีของ Apak et al. (2004) โดยใช้โทรล็อก (trolox; TE) เป็นสารมาตรฐาน ผสมสารละลาย $CuCl_2$ ความเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 1 ml สารละลาย neocuproine ความเข้มข้น $7.5x10^{-3}$ M ปริมาตร 1 ml และสารละลาย NH_4Ac pH 7.0 ปริมาตร 1 ml ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานโทรล็อกปริมาตร 1.1 ml แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำสารละลายบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1.5 hr จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 450 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ และตรวจสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรล็อก ในหน่วย mg TE/ 100 g FW

การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's multiple-range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

ผลการวิจัย

การเก็บตัวอย่างใบมะละกอทั้ง 3 ระยะ แบ่งระยะใบมะละกอด้วยการใช้แผ่นเทียบสี ได้แก่ ระยะที่ 1 ใบอ่อน มีสีเขียวอ่อน ระยะที่ 2 ใบแก่ สีเขียว และระยะที่ 3 ใบแก่มาก มีสีเขียวเข้ม โดยลักษณะค่า L* ระยะที่ 3 ใบแก่มาก จะมีค่า L* = 43.33 มากที่สุด รองลงมาคือระยะที่ 2 ใบแก่ มีค่า L* = 42.00 และระยะที่ 1 มีค่า L* = 41.60 ขณะที่ค่า a* ระยะที่ 3 ใบแก่มาก มีค่า a* = -20.07 มาก รองลงมาคือระยะที่ 2 ใบแก่ ค่า a* = -22.21 และระยะที่ 1 ใบอ่อน ค่า a* = -22.50 ส่วนค่า b* ในระยะที่ 2 ใบแก่ จะมีค่า b* = 24.53 ในขณะที่ระยะที่ 1 ใบอ่อนและระยะที่ 3 ใบแก่มากมีค่าเท่ากับ 24.13 (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 100 สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว ในขณะที่ ค่า a* มีค่าติดลบสีที่ได้จะมีสีออกเขียว และค่า b* มีค่าเป็นบวกสีที่ได้จะมีสีออกเหลือง เมื่อระยะใบมีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้มีสีใบสว่าง (ค่า L*) และสีเป็นสีเขียวมากขึ้น (ค่า a*) ขณะเดียวกันเมื่อใบมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นค่าสีใบจะออกเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการวัดสีของใบมะละกอ 3 ระยะ

ระยะใบ	คำอธิบายสีใบ	ค่าการวัดสีใบ		
		L*	a*	b*
ระยะที่ 1 ใบอ่อน	มีสีเขียวอ่อน	41.60	-22.50	24.13
ระยะที่ 2 ใบแก่	มีสีเขียว	42.00	-22.21	24.53
ระยะที่ 3 ใบแก่มาก	มีสีเขียวเข้ม	43.33	-20.07	24.13

หมายเหตุ L* = ความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 a* = แกนสีจากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) และ b* = แกนสีจากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในใบมะละกอที่มีอายุต่างกัน 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ใบอ่อน ระยะที่ 2 ใบแก่ และระยะที่ 3 ใบแก่มาก พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม สารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และวิตามินซี มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ยกเว้นปริมาณสารอัลคาลอยด์ ยังพบว่า ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH free radical scaenging และวิธี CUPRAC ของใบมะละกอทั้ง 3 ระยะ มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 2) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ใบมะละกอในระยะที่ 3 ใบแก่มาก มีค่าค่อนข้างสูงกว่าในระยะอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 11.64 mg GAE/g FW สารประกอบ ฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 18.69 mg CE /g FW และวิตามินซีเท่ากับ 25.94 mg ascorbic acid /100 g FW นอกจากนี้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันวิธี DPPH free radical scaenging และวิธี CUPRAC ในใบมะละกอระยะที่ 2 และระยะที่ 3 มีค่าค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน โดยวิธี DPPH มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ 13.27% และ 10.88% ตามลำดับ ส่วนวิธี CUPRAC ในใบมะละกอระยะที่ 2 และระยะที่ 3 มีค่าเท่ากับ 43.31 และ 48.63 mg TE /100 g FW ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสาร อัลคาลอยด์ ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และวิธี CUPRAC ในใบมะละกอ 3 ระยะ

ระยะการพัฒนาของใบ	mg GAE/g FW	mg CE /g FW	mg ascorbic acid /100 g FW	Alkaloid (g)	DPPH Inhibition (%)	CUPRAC mg TE /100 g FW
ระยะที่ 1 ใบอ่อน	8.98[a]	7.03[a]	16.81[a]	0.72	8.49[a]	24.64[a]
ระยะที่ 2 ใบแก่	12.39[b]	14.85[b]	20.45[a]	0.74	13.27[c]	43.31[b]
ระยะที่ 3 ใบแก่มาก	11.64[b]	18.69[c]	25.94[b]	0.78	10.88[b]	48.63[c]
F-test	**	**	**	ns	**	**
CV (%)	34.2	30.00	31.8	39.00	32.00	20.00

หมายเหตุ ** = ความแตกต่างทางสถิติที่ 99%, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
GAE = gallic acid, CE = catechin, TE = tlolox

อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาการของพืชเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทั้งลักษณะภายนอกและกายวิภาคภายใน เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ (cell differentiation) (สมบุญ, 2548) การเจริญเติบโตและพัฒนาการทางลำต้น โดยเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอดจะมีลักษณะพิเศษและมีความสามารถในการแตกแขนงหรือเจริญออกไปด้านข้าง เพื่อเกิดเป็นส่วนของใบและลำต้น ส่วนที่เป็นกิ่ง (vegetative organs) และอวัยวะสืบพันธ์ (reproductive organs) ได้ (ลิลลี่, 2549) โดยใบของมะละกอแต่ละอายุใบในการศึกษาครั้งนี้จะมีปริมาณสารพฤกษเคมีหรือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ แตกต่างกัน โดยระยะใบแก่และใบแก่มากจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิค ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารอัลคาลอยด์ และฤทธิ์การ ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี CUPRAC มากที่สุด ซึ่งภานุวัฒน์และคณะ (2560) ได้กล่าวว่า การที่ระยะใบมีปริมาณสารที่แตกต่างกัน เนื่องจากใบเมื่อมีอายุมากขึ้น ปริมาณสารสำคัญต่างๆ ก็จะมีปริมาณสารเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากรายงานการศึกษาสารสกัดจากใบมะละกอ พบว่า ปริมาณวิตามินซีมีค่า 16.29 mg/ 100 g (Ayoola and Adeyeye, 2010) ปริมาณสารฟีนอลิกรวม มีค่าอยู่ในช่วง 9.43-23.1 mg GAE/100 g FW ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม มีค่าอยู่ในช่วง 6.44-17.1 mg CE /100 g FW ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH free radical scavenging มีค่าอยู่ในช่วง 67.38-105.62 µg TE/g และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี CUPRAC มีค่าอยู่ในช่วง 122.47-166.66 µg TE/g (Vuong et al, 2013) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารพฤกษเคมีที่วิเคราะห์ในครั้งนี้ พบว่า มีค่าปริมาณสารฟีนอลิกรวม ปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม และปริมาณวิตามินซี อยู่ในช่วงเดียวกันกับที่ได้มีการรายงานมาก่อนหน้านี้ ส่วนฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH free radical scavenging และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี CUPRAC ยังไม่สามารถเปรียบเทียบกับรายงานนี้ได้ เพราะมีหน่วยการวัดที่ต่างกัน ทั้งนี้มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมี เช่น สภาพภูมิอากาศ สายพันธุ์พืช ฤดูกาล ระยะการเจริญเติบโต รวมทั้ง เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ (Farhadi et al. 2016) โดยสารพฤกษเคมีที่พบในพืชสามารถจำแนกได้ 2 พวกใหญ่ ได้แก่ Primary Metabolite และ Secondary Metabolit โดย Primary Metabolite เป็นสารที่อยู่ในพืชชั้นสูง เป็นสารที่ได้มาจากผลิตผลของกระบวนการสังเคราะห์แสง (Phytosynthesis) และการหายใจ (Respiration) ได้แก่ สารจำพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดอะมิโน โปรตีน รวมถึงสารที่จำเป็น (Essential) ต่อการดำรงชีวิตของพืชต่างๆ ส่วนสาร Secondary Metabolites จะเป็นกลุ่มของสารพฤกษเคมี ที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนกลุ่มใหญ่ มีลักษณะโมเลกุลที่ซับซ้อน ได้จากการเปลี่ยนสาร Primary Metabolites ด้วยกระบวนการชีวสังเคราะห์แล้วเกิดเป็นสาร Secondary Metabolites ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญที่สุด และมีลักษณะพิเศษแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช สารพฤกษเคมีสามารถแบ่งกลุ่มตามโครงสร้างโมเลกุลที่สำคัญคือ สารในกลุ่ม สเตอรอยด์ (Steroids) อัลคาลอยด์ (Alkaloids) เทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และแทนนิน (Tannins) (Muthukrishnan and Subramaniyan, 2012 อ้างโดย ปานทิพย์ และวัลภา, 2557) โดยฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากพืชมีสาเหตุ มาจากองค์ประกอบทางพฤกษเคมี ที่มีการพบในใบมะละกอมีสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นสารกลุ่มใหญ่ของสารประกอบฟีนอลิก มีรายงานว่าเป็นยาต้านจุลชีพ (Bastos et al., 2009) บรรเทาอาการหดเกร็ง (Julianeli et al., 2011) และมีคุณสมบัติต้านไวรัส (Karamoddini et al., 2011) สารอัลคาลอยด์ สามารถป้องกันโรคมาลาเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ahmed et al., 2010) กรดแอสคอร์บิค สามารถนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรเพื่อรักษาโรคไข้หวัดและโรคอื่นๆ เช่น มะเร็งต่อมลูกหมาก (Baskaran et al., 2012) นอกจากนี้การทดสอบฤทธิ์การ ต้านออกซิเดชั่นทั้งแบบ DPPH free radical scavenging และแบบ CUPRAC จะเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ทั้ง 2 วิธีมีหลักการ ได้แก่ วิธี DPPH free radical scavenging เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH˙,diphenyl-picryhydrazyl

radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วง เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลงๆ จนเป็นสีเหลือง (Thaipong et al., 2006) ส่วนวิธีแบบ CUPRAC อาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเชิงซ้อนที่ไม่มีสีของ Cu(II)-neocuproine complex กับสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่รีดิวซ์ Cu(II) กลายเป็นสารเชิงซ้อน Cu(I)-neocuproine complex ที่มีสีเหลืองส้ม ความเข้มสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นนี้แปรผันตรงกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่าง (Apak et al., 2008) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ใบมะละกอเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่หลากหลาย ซึ่งช่วยในการเสริมสร้างสุขภาพและยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระหรือภาวะเครียดออกซิเดชันในร่างกายของมนุษย์ นอกจากนี้อาจมีประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อได้มีการนำใบมะละกอมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น ทางด้านอาหาร เภสัชกรรม และทางการแพทย์

สรุปผลการวิจัย

ใบมะละกอทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณสารและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ซึ่งใบมะละกอในระยะที่ 3 ใบแก่มากมีปริมาณสารค่อนข้างสูงกว่าในระยะอื่น ๆ โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 11.64 mg GAE/g FW สารประกอบฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 18.69 mg CE /g FW และวิตามินซีเท่ากับ 25.94 mg ascorbic acid /100 g FW นอกจากนี้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันวิธี DPPH free radical scaenging และวิธี CUPRAC ในใบมะละกอระยะที่ 2 และระยะที่ 3 มีค่าค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน โดยวิธี DPPH มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ 13.27% และ 10.88% ตามลำดับ ส่วนวิธี CUPRAC ในใบมะละกอระยะที่ 2 และระยะที่ 3 มีค่าเท่ากับ 43.31 และ 48.63 mg TE /100 g FW ตามลำดับ โดยปริมาณสารและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะใบของมะละกอมีระยะการพัฒนายาวนานมากขึ้น ดังนั้นการเลือกใบมะละกอไปใช้ประโยชน์ในแต่ละระยะ อาจต้องคำนึงเรื่องของค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา ต้นทุน และระยะเวลา เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากใบมะละกอได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนเครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

นิภาพร ยลสวัสดิ์, มณทินี ธีรารักษ์ และจำรูญ เล้าสินวัฒนา. (2557). การประเมินความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและการจับโลหะและปริมาณฟินอลิคจากใบทุเรียน 10 พันธุ์. *วารสารแก่นเกษตร*, 42 (ฉบับพิเศษ 3), 88-93.

ภานุวัฒน์ สีพันธ์. (2560). ระยะพัฒนาการต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่. *วารสารแก่นเกษตร,* 45(ฉบับพิเศษ 1), 336-341.

ปานทิพย์ บุญส่ง และวัลภา เนตรดวงตา. (2557). ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของใบพืชไม้ผลเขตร้อนบางชนิด. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.* 24(3): 624-633.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และสุรียา ตันติวิวัฒน์. (2549). *สรีรวิทยาของพืช.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2554). *สรีรวิทยาของพืช.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ahmed, N., H. Fazal, M. Ayaz, B.H. Abbasi, I. Mohammad and L. Fazal. (2010). Dengue fever treatment with *Carica papaya* leaves extracts. *Asian Pac J Trop Biomed.* 1(4): 330-333.

AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis (16th Ed.).* Washington, DC. : The Association of Official Analytical Chemists.

Apak, R., K. Güclü, M. Özyürek and S.E. Karademir. (2004). Novel Total Antioxidant Capacity Index for Dietary Polyphenols and Vitamins C and E, Using Their Cupric Ion Reducing Capability in the Presence of Neocuproine: CUPRAC Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52 (26) : 7970–81.

Arora, C., S. Mehta, and H. Dua. (2012). Phytochemical Screening and Evaluation of Biological Activities of Some Medicinal Plants of Phagwara, Punjab. *Asian Journal of Chemistry*. 24(12): 5903-5905.

Ayoola, P.B. and A. Adeyeye. (2010). Phytochemical and nutrient evaluation of *Carica papaya* (pawpaw) leaves. *IJRRAS*. 5(3): 325-328.

Baskaran, C., V. Ratha bai, S. Velu and K. Kumaran. (2012). The efficacy of *Carica papaya* leaf extract on some bacterial and a fungal strain by well diffusion method. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. S658-S662.

Bastos, M.L., M.R. Lima†, L.M. Conserva, V.S. Andrade, E. MM Rocha†3 and Rosangela PL Lemos†4 (2009). Studies on the antimicrobial activity and brine shrimp toxicity of Z. tuberculosa extracts and their main constituents. Annals of Clil Microb Antimic .8: 16.

Farhadi, K. F. Esmaeilzadeh, M. Hatami, M. Forough and R. Molaie. (2016). Determination of phenolic compounds content and antioxidant activity in skin, pulp, seed, cane and leaf of five native grape cultivars in West Azerbaijan province, Iran. *Food Chem*. 199: 847-855.

Imaga, N.A., G.O. Gbenle, V.I. Okochi, S. Adenekan, T. Duro-Emmanuel, B. Oyeniyi, P. N. Dokai, M. Oyenuga, A. Otumara and F.C. Ekeh. (2010). Phytochemical and antioxidant nutrient constituents of *Carica papaya* and *Parquetina nigrescens* extracts. *Scitific Research and Assays.* 5(16): 2201-2205.

Julianeli T.de Lima, Jackson Roberto Guedes da Silva Almeida, Kelly Samara de Lira Mota, Ana Sílvia Suassuna Carneiro Lúcio, Celso Amorim Câmara, José Maria Barbosa Filho, Bagnólia Araújo da Silva (2011). Selective spasmolytic effect of a new furanoflavoquinone derivative from diplotropin on guinea-pig trachea. *J Chem Pharm Res*. 3(1): 249-258.

Karamoddini, M.K., S.A. Emami,, M.S. Ghannad, E.A. Sani, and A. Sahebkard. (2011). Antiviral activities of aerial subsets of Artemisia species against Herpes Simplex virus type 1 (HSV1) in vitro. *Asian Biomedicine*. 5(1): 63-68.

Mahmood, A.A., K. Sidik and I. Salmah. (2005). Wound healing activity of *Carica papaya* L. aqueous leaf extract in rats, *International Journal of Molecular Medicine and Advance Sciences.* 1: 398-401.

Nantitanon, W., S. Yotsawimonwat, and S. Okonogi. (2010). Factors influencing Antioxidant activities and total phenolic content of guava leaf extract. *LWT-Food Science and Technology.* 43: 1095-1103.

Otsuki, N., N.H. Dangb, E. Kumagaia, A. Kondoc, S. Iwataa and C. Morimoto. (2010). Aqueous extract of *Carica papaya* leaves exhibits anti-tumor activity and immunomodulatory effects. *Journal of Ethnopharmacology.* 127: 760-767.

Owoyele, B., O. Adebukola, A. Funmilayo and A. Soladoye. (2008). Anti-inflammatory activities of ethanolic extract of *Carica papaya* leaves. *Inflammopharmacology.* 16: 168-73.

Runnie, I. M.N. Salleh, S. Mohamed, R.J. Head and M.Y. Abeywardena. (2004). Vasorelaxation induced by common edible tropical plant extracts in isolated rat aorta and mesenteric vascular bed. *Journal of Ethnopharmacology.* 92: 311-316.

Slinkard, K., and V.L. Singleton. (1997). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture.* 28(1): 49-55.

Thaipong K, U. Boonprakob, K. Crosby, L. Cisneros-Zevallos and D.H. Byrne. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis.* 19: 669–675.

Vij, L. and Y. Prashar. (2015). A review on medicinal properties of *Carica papaya* Linn. *Asian Pac. J. Trop. Dis*. 5(1): 1-6.

Vuong, Q.V. S. Hiruna, P.D. Roacha, M.C. Bowyera, P.A. Phillips and C.J. Scarlett. (2013). Effect of extraction conditions on total phenolic compounds and antioxidant activities of *Carica papaya* leaf aqueous. *Journal of Herbal Medicine.* 3: 104-111.

Yogiraj, V., P.K. Goyal, C.S. Chauhan, A. Goyal, and B. Vyas. (2014). *Carica papaya* Linn: An Overview. *International Journal of Herbal Medicine.* 2(5): 01-08.

Zhishen, J., T. Mengcheng and W. Jianming. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64: 555–559.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ pre-emulsified vegetable oil เพื่อทดแทนไขมันหมูในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูอิมัลชัน

กฤษณา ศิริพล[1*] ประยงค์ อุดมวรภัณฑ์[1] เมทินี มาเวียง[1] และ ฉัตรชยา อ่อนอำไพ[1]
[1]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail : Kritsna.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

ผงเตรียม pre-emulsified vegetable oil (PEVO powder) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ผสมระหว่างน้ำอุ่นกับน้ำมันพืช เพื่อทำอิมัลชันน้ำมันพืชสำหรับทดแทนไขมันสัตว์ในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อหมูอิมัลชัน จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของปริมาณอิมัลชันน้ำมันพืชที่ใช้ทดแทนมันหมู (x_1) และไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (x_2) ด้วยวิธี Central Composite Design (CCD) ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของการแทนที่มันหมูด้วยอิมัลชันน้ำมันพืชคือ 100% และใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 0.35% (ของน้ำหนักเนื้อหมู) จากนั้นได้ทำการปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ 3 (x_3) ด้วยความเข้มข้น 5 ระดับคือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5% (ของน้ำหนักเนื้อหมู) พบว่าที่ระดับ 0.1 และ 0.5% ให้ผลการประเมินด้านประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างจากหมูยอสูตรควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อทวนสอบด้วยการทดสอบชิมด้วยผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสูตรควบคุม และสูตรที่มีไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ 3 ปริมาณ 0.1 และ 0.5% โดยพบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$)

คำสำคัญ : อิมัลชันน้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูอิมัลชัน ไฮโดรคอลลอยด์

Development of Pre-Emulsified Vegetable Oil as a Pork Back Fat Replacer in Emulsion Pork Products

Kritsna Siripon[1*], Prayong Udomworapant[1], Metinee Maweang[1] and Chatchaya Onumpai[1]
Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University
[*]E-mail : Kritsna.s@ubu.ac.th

Abstracts

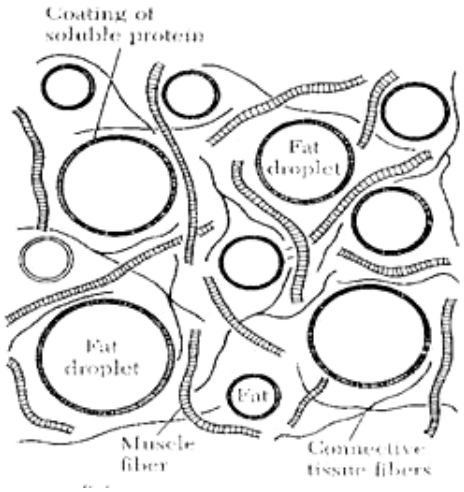
Pre-emulsified vegetable oil powder (PEVO powder) was created for preparing vegetable oil emulsion, by mixing with warm water and vegetable oil, as a pork backfat substitute in emulsion meat products. By Texture Profile Analysis (TPA), one hundred percent of vegetable oil emulsion (X_1) could replace pork backfat in the formula and 0.35% (of pork) of the hydrocolloids mixture (X_2) was responsible for emulsification. The optimization was done using Central Composite Design (CCD). To improve sensory characteristics of the products, the third hydrocolloids (X_3) was subsequently added at 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5% of pork meat. The Texture Profile Analysis (TPA) evaluation and sensory test show that sensory profile of pork meat emulsion product with 0.1 and 0.5% of X_3 were not different from those of the control product ($p>0.05$). Verification with consumer test by 100 panelists show the same result.

Keywords : vegetable oil emulsion, emulsion meat product, hydrocolloids

บทนำ

ผลิตภัณฑ์หมูอิมัลชันเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อที่อยู่ในกลุ่มเนื้อบดละเอียดแบบอิมัลชันโดยการลดขนาดของเนื้อสัตว์ให้มีขนาดเล็กลงด้วยการบดสับให้ละเอียด โปรตีนในเนื้อสัตว์ชนิด myosin และ actin ถูกละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อเกิดส่วนผสมใหม่กับไขมันและน้ำที่เราเรียกว่า อิมัลชัน (emulsion) แต่หากพิจารณาตามหลักการทางเทคโนโลยีแล้ว อิมัลชันที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์

หมูอิมัลชันที่ใช้ไขมันสัตว์ เช่นมันแข็งสุกรเป็นวัตถุดิบในการผลิต จะไม่ใช่อิมัลชันที่แท้จริงเหมือนกับมายองเนส หรือ O/W อิมัลชัน (oil in water emulsion) ชนิดอื่นๆ ดังนั้นอิมัลชันในไส้กรอกควรเรียกว่า meat batter ซึ่งอธิบายถึงส่วนผสมของเนื้อบด ไขมัน กับสารต่างๆ ที่ใช้ในการเคียว (curing agents) และเครื่องเทศต่างๆ ที่ผ่านการสับนวดอย่างละเอียด และอนุภาคของไขมันจะถูกห่อหุ้มด้วยโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ดังนั้น meat batter จึงมีโครงสร้างเหมือนกับอิมัลชัน แม้ว่าตามความเป็นจริงแล้วไม่ใช่อิมัลชันแบบ O/W (oil in water) ที่แท้จริงก็ตาม ทฤษฎีที่ใช้อธิบายถึงเสถียรภาพหรือความคงตัว meat batter ที่ผลิตจากไขมันสัตว์ ซึ่งเป็นของผสมที่ซับซ้อน มี 2 ทฤษฎี ทฤษฎีแรก คือ ทฤษฎีอิมัลชัน (emulsion theory) ซึ่งอธิบายว่า การที่ meat batter มีเสถียรภาพอยู่ได้ก็เนื่องจากผิวหน้าของอนุภาคไขมัน (fat globules) ซึ่งเป็นวัฏภาคกระจาย (dispersed phase) ถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มของโปรตีน (protein film) ซึ่งถูกสกัดออกมาด้วยเกลือในระหว่างการสับนวด จึงทำให้อนุภาคไขมันไม่สามารถเข้ามารวมกันได้ สำหรับโปรตีนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นฟิล์มรอบอนุภาคของไขมันได้แก่ ไมโอซิน (myosin protein) ดังภาพที่ 1 โดยที่โปรตีนไมโอซินที่ยังไม่เสถียรจะหันส่วนหัว (head) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic part) เข้าไปหาอนุภาคไขมัน และหันหัวส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic part) ออกมายังวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ซึ่งมีน้ำและโปรตีนอื่นๆ ที่สามารถละลายได้ในน้ำ ไมโอซินจะใช้ส่วนที่ชอบน้ำจับกับโปรตีนอื่นๆ ซึ่งจะมีผลให้แผ่นฟิล์มโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคหนาและแข็งแรงขึ้น ดังนั้นทฤษฎีนี้ไมโอซินจึงถือว่าเป็นสารช่วยให้เกิดอิมัลชัน ส่วนอีกทฤษฎีหนึ่งที่อธิบายเสถียรภาพหรือความคงตัว ของ meat batter ที่ผลิตจากไขมันสัตว์ คือทฤษฎีการดักจับอนุภาคไขมันเชิงกายภาพ (physical entrapment theory) ซึ่งอธิบายว่า การที่ meat batter มีเสถียรภาพอยู่ได้โดยที่อนุภาคของไขมันไม่แตกตัวออกมารวมกันเกิดจากอนุภาคของไขมันถูกกักไว้ภายในโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ของโปรตีนเจล (gelled protein – water matrix) ซึ่งเกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพ (denaturation) ของโปรตีนไมโอซินที่หุ้มอนุภาคไขมันด้วยความร้อนในขณะสับผสมและขณะทำให้สุก (Gordon and Barbut, 1992)



ภาพที่ 1 ลักษณะการเกิดอิมัลชันในผลิตภัณฑ์เนื้อ
ที่มา: วัฒนี (2542)

และเนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวมีส่วนสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์หมูอิมัลชันมีลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่เฉพาะอันเกิดจากสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) ต่างๆของส่วนประกอบภายใน meat batter ซึ่งจำเป็นต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมและมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีในช่วงที่ถูกต้อง ดังนั้นการทดแทนไขมันหรือการเปลี่ยน profile ไขมันใน meat batter จึงนับเป็นศาสตร์ที่มีความซับซ้อน

เดือนเพ็ญ สุขเกษม และคณะ (2552) ทำการศึกษาการทดแทนไขมันหมูในไส้กรอกอิมัลชันด้วย pre-emulsified จากน้ำมันพืช 5 ชนิด คือ น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันมะกอก และน้ำมันงา ในปริมาณร้อยละ 20 โดยเตรียม pre-emulsified vegetable oil ด้วยการผสมน้ำมันกับน้ำและหางนมผงในปริมาณ 8.33:5:1 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำมันถั่วเหลืองทดแทนไขมันหมูแสดงศักยภาพสูงสุดในการนำมาทดแทนแม้ผลการทดสอบชิมจะมีค่าเป็นรองจากการใช้

น้ำมันมะกอก แต่เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพอื่นร่วมด้วยพบว่ามีความเป็นไปได้สูงสุดในการนำมาพัฒนาต่อยอด

รจนพรรณ บพิตรสุวรรณ และคณะ (2554) ศึกษาการผลิตไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์รสแกงเขียวหวานโดยใช้ pre-emulsified vegetable oil ของน้ำมันมะพร้าวเพื่อทดแทนไขมันหมู โดยมีส่วนผสมของ pre-emulsified vegetable oil คือ เวย์ผง น้ำ และน้ำมันมะพร้าว สัดส่วน 1:1:3 และทดแทนไขมันหมูปริมาณ 10, 20 และ 30% ผลการทดสอบทางกายภาพ เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความคงตัวของของอิมัลชัน %cooking yield และการทดสอบผู้บริโภค พบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการทดแทนไขมันหมูคือ 30%

สุนทรีย์ แสงอุ่น และคณะ (2550) ได้ทดลองทดแทนไขมันหมูด้วยเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นผสมกับ แคบปาคาร์ราจีแนนเข้มข้น 3% โดยมีสัดส่วน โปรตีนถั่วเหลืองต่อแคบปาคาร์ราจีแนน 2:1, 3:1, และ 4:1 ทดแทนไขมันในปริมาณ 3.23, 6.47, 9.70 และ 12.93% พบว่าปริมาณสัดส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองกับแคบปาคาร์ราจีแนนไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ แต่มีผลต่อการทดสอบชิมของผู้บริโภค โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบของสูตรการทดแทนไขมัน 9.7% อัตราส่วน 2:1 สูงที่สุด

สุวภัทร เผ่าเพ็ง และคณะ (2553) ได้นำสารละลายอินนูลิน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นเส้นใยและมีสมบัติที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์มาใช้เพื่อทดแทนไขมันหมูในไส้กรอกแฟรค์เพอร์เตอร์ (ผลิตภัณฑ์หมูอิมัลชัน) ได้ในปริมาณสูงถึง 30% โดยมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และการทดสอบผู้บริโภคน้อยมาก

ผลจากงานวิจัยที่กล่าวมา ทำให้เห็นได้ว่าการทดแทนไขมันสัตว์ด้วยไขมันจากพืชเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีศักยภาพในการปรับโปรไฟล์ไขมันในผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผู้บริโภคที่มีความต้องการหลีกเลี่ยงการบริโภคไขมันจากสัตว์ แต่การทดแทนด้วยไขมันพืชซึ่งมีความหนืดและความคงตัวต่ำเป็นเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น ไม่มีแรงต้านการเคี้ยว (hardness ต่ำ) ขณะบริโภค (Mugguerza *et al.,* 2001) จึงทำให้เกิดเทคนิคการใช้ pre-emulsified fat ในการเตรียมไขมันเพื่อแทนที่ไขมันจากสัตว์ ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ และนอกจากนี้ยังสามารถเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีประโยชน์และมีคุณค่าทางอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย (Asuming-Bediako *et al.* (2014), Mugguerza *et al.* (2001), Yildiz-Turp *et al.* (2008) แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากงานวิจัยยังแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อชดเชยเนื้อสัมผัสที่ขาดหายไป และยังต้องการการศึกษากรรมวิธีในการเตรียมส่วนผสมของ pre-emulsified vegetable oil เพื่อใช้ผลิตจริงในอุตสาหกรรมซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้

วิธีการวิจัย

<u>การผลิตหมูยอ</u>

เนื่องจากหมูยอเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมผลิตในเขตจังหวัดอุบลราชธานี จึงใช้หมูยอเป็นตัวแทนผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในการงานครั้งนี้ และใช้ pre-emulsified vegetable oil ที่พัฒนาขึ้นเป็นส่วนผสมทดแทนไขมันหมูในผลิตภัณฑ์ การผลิตหมูยอเริ่มต้นจากการสับผสมส่วนผสมต่างๆดังตารางที่ 1 ด้วยเครื่องสับผสม (Robotcoupe, Medel R3VV, Italy) ตามขั้นตอนของ สุนทรีย์ แสงอุ่น และคณะ (2550) และนำเนื้อหมูยอขึ้นรูปในแผ่นฟอยล์ให้เป็นรูปทรงกระบอก น้ำหนัก 200 กรัมต่อชิ้น และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว จากนั้นนึ่งด้วยไอน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิใจกลาง 80°C การประเมินคุณภาพประกอบด้วยการวิเคราะห์ Emulsion Stability ของ meat batter ตามวิธีของ Lin *et al*, 2003 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ด้วย Texture Analyzer (LLOYD model. LR series, UK) และวัดสีระบบ L* a* b* ของ Hunter Lab Color Meter (Model 45/0L, USA) ของหมูยอ

<u>การแทนที่ไขมันหมูด้วย PEVO ในหมูยอ</u>

เงื่อนไขบังคับในการเตรียม pre-emulsified vegetable oil (PEVO) โดยมีส่วนผสมระหว่างน้ำ หางนมผง และน้ำมันถั่วเหลือง (ตรา องุ่น) ในอัตราส่วน 924:180:1536 ทำการผสมส่วนผสมดังกล่าวด้วยเครื่องปั่นผสมตามขั้นตอนของ รจนพรรณ บพิตรสุวรรณ และคณะ (2554) โดยใช้ส่วนผสมของ PEVO (X_1) แทนที่ไขมันหมูบดในผลิตภัณฑ์หมูยอ และมีการเติมส่วนผสมของ hydrocolloids (X_2) ระหว่างการสับผสมเพื่อทำหน้าที่เป็น emulsifier ซึ่งเป็นสารที่ผสมจาก hydrocolloids 2 ชนิด (Mixed Emulsifier, ME) คือ H1 และ H2 ในอัตราส่วน 3:1 (ปกปิดชนิด Hydrocolloids เนื่องจากเป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) โดยมีแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) แบบ 2 ตัวแปร มีหน่วยทดลอง

ทั้งหมด 11 หน่วยทดลอง และทำการทดลองซ้ำที่สูตร Central จำนวน 3 ซ้ำ (ดังตารางที่ 2) เพื่อเก็บข้อมูลต่างๆในการหาสมการ regression

ตารางที่ 1 สูตรหมูยอเพื่อทวนสอบการใช้ PEVO powder ในผลิตภัณฑ์หมูยอ (หน่วยเป็นกรัม)

ส่วนประกอบ	สูตรควบคุม
หมู	650
ไขมัน	220-X_1
PEVO	X_1
ME	X_2
STTP	3
เกลือ	15
น้ำแข็ง	150
เครื่องเทศและอื่นๆ	77.5

การวางแผนการทดลองและสถิติ

เพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว คือ X_1 = ปริมาณ pre-emulsified vegetable oil และ X_2 = ปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ (Mixed Emulsifier) งานวิจัยนี้ได้นำ Response Surface Design ในออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design (CCD) โดยมีแผนการทดลองดังตารางที่ 3 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติเพื่อหาสมการในการทำนายคุณภาพต่างๆ กำหนดให้ค่า p-value=0.05 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ Minitab version 17

ตารางที่ 2 ปริมาณของ PEVO และ ME ตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Design

การทดลองที่	PEVO (กรัม)	ME (กรัม)
1	88.55	40.35
2	88.55	40.85
3	197.45	89.85
4	197.45	90.35
5	66	30.35
6	220	100.35
7	143	65
8	143	65.7
9	143	65.35
10	143	65.35
11	143	65.35

ผลการวิจัย

หาปริมาณการแทนที่ PEVO ที่เหมาะสม

หลังจากทำการสับผสมเนื้อตามสูตรทั้ง 11 สูตร ส่วนผสมดิบ (Meat batter) ถูกนำไปวัด Emulsion Stability จากผลการทดลอง ไม่พบการแยกชั้นของไขมันออกมาจาก meat batter ในทุกๆ สูตร และเมื่อนำเนื้อหมูยอต้มสุกไปวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ข้อมูลได้นำไปคำนวณเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรด้วยโปรแกรมทางสถิติ แสดงผลดังตารางที่ 3 และเมื่อทำการหาค่าที่เหมาะโดยเปรียบเทียบกับหมูยอทางการค้า โดยเปรียบเทียบกับหมูยอที่ผลิตด้วยสูตรควบคุม (ปริมาณ PEVO และ Mixed Emulsifier เท่ากับ 0 และ 0 ตามลำดับ) พบว่าปริมาณ PEVO และ Mixed Emulsifier ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 220 และ 2.28 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสีต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ PEVO และ

Mixed Emulsifier พบว่า การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทั้ง 2 ในการผลิตหมูยอไม่มีผลต่อสี L*, b* และ a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อสัมผัสหมูยอกับ x_1 และ x_2

เนื้อสัมผัส	$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2$					
	β_0	β_1	β_2	β_{12}	β_{11}	β_{22}
Hardness 1	13.604	-0.8083	-0.0817	+0.7245	-1.4911	-1.3770
Hardness 2	8.3441	-0.5063	-0.1567	+0.4599	-1.0740	-0.5312
Cohesiveness	0.2521	-0.0024	-0.0216	+0.0156	-0.0306	+0.0178
Springiness index	0.8887	+0.1060	-0.0602	+0.0651	-0.0347	-0.0192
Gumminess	3.5105	-0.1425	-0.2343	+0.3368	-0.6470	-0.2250
Chewiness	3.0417	-0.1087	-0.3533	+0.5583	-0.7691	-0.2480

หมายเหตุ วัดจำนวน 10 ซ้ำ

ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสต่อเนื้อสัมผัสหมูยอ

จากการทดลองที่ 1 พบข้อด้อยที่เกิดขึ้น คือ เนื้อหมูยอขาด hardness และ cohesiveness ดังนั้นจึงเลือกไฮโดรคอลลอยด์ (x_3) ชนิดที่ใช้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่ช่วยในการประสานโปรตีนให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นเพื่อชดเชยข้อด้อย การทดลองมีการเติม x_3 ลงในหมูยอปริมาณ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5%(ของเนื้อหมู) จากนั้นทำการผลิตหมูยอด้วยวิธีและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบทางกายภาพพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและเนื้อสัมผัสเป็นสมการพาราโบล่าหงาย มีจุดสูงสุดที่ค่า x_3 เท่ากับ 0.1 และ 0.5% และลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่ได้จากสองสูตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%

ทวนสอบการใช้ PEVO powder ในผลิตภัณฑ์หมูยอ

ทำการผลิตหมูยอ 3 สูตร (ดังตารางที่ 2) ถูกผลิตเพื่อทวนสอบการใช้อิมัลชันน้ำมันพืชทดแทนไขมันหมู ทดสอบความชอบด้วยผู้บริโภคในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีและผู้บริโภคในร้านอาหารเพื่อสุขภาพในเขตอำเภอเมืองอุบลราชธานี จำนวน 100 คน โดยทดสอบด้วยวิธีฮีโดนิค (hedonic) แสดงผลการชิมดังตารางที่ 3 และพบว่าผลการชิมด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัสขณะกัด และเนื้อสัมผัสขณะเคี้ยว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตในทุกๆ ด้านทั้ง 3 สูตร

ตารางที่ 4 ผลทดสอบความชอบของผู้บริโภค 100 คนด้วยวิธี Hedonic

สูตร	ควบคุม	x_1=0.10%	x1=0.50%
สี	7.15±1.26	7.06±1.26	7.13±1.39
กลิ่น	6.84±1.58	6.58±1.49	6.63±1.59
รส	6.61±1.87	6.42±1.77	6.49±1.80
เนื้อสัมผัสขณะกัด	6.72±1.53	6.41±1.58	6.32±1.75
เนื้อสัมผัสขณะเคี้ยว	6.77±1.48	6.48±1.54	6.43±1.65
ความชอบโดยรวม	6.97±1.36	6.69±1.63	6.81±1.52

หมายเหตุ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของทุกสูตรในพารามิเตอร์เดียวกัน

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง สามารถนำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมเป็นผงเตรียมอิมัลชันน้ำมันพืชเพื่อใช้ผลิตในรูปของผง เรียกชื่อว่า PEVO powder เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเตรียมอิมัลชันน้ำมันพืชสำหรับทดแทนไขมันสัตว์ในผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชัน สามารถนำไปใช้ผสมกับน้ำอุ่นและน้ำมันพืชด้วยเครื่องมือพื้นฐานง่ายๆ และสามารถนำอิมัลชันน้ำมันพืชนั้นไปแทนที่ไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชันได้ 100% โดยการผลิตหมูยอด้วยอิมัลชันน้ำมันพืชที่เตรียมจาก PEVO powder ไม่มีความแตกต่างจากหมูยอการใช้ไขมันหมู

เอกสารอ้างอิง

Asuming-Bediako, N., Jaspal, M.H., Hallett, K., Bayntun, J., Baker, A. and Shred, P.R. (2014), Effect of replacing pork backfat with emulsified vegetable oil on fatty acid composition and quality of UK-style sausages, **Meat Science**, Vol.96, pp.187-194

Gordon, A and Barbut, S. (1992) **Handbook of meat processing**, Wiley-Blackwell, Iowa, 644p.

Muguerza, E., Gimeno, O., Ansorena, D., Bloukas, J.G., and Astiasaran, I. (2001), Effect of replacing pork backfat with pre-emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of chorizo de Pamplona-a traditional Spanish fermented sausage**, Meat Science**, Vol.59, pp.251-258.

Yildiz-Trup, G., and Serdarpglu, M. (2008), Effect of replacing beef fat with hazelnut oil on quality characteristics of sucuk-A Turkish fermented sausage, **Meat Science**, Vol.78, pp.447-454.

เดือนเพ็ญ สุขเกษม และ ชริญธร ผลบุญ (2552) ผลของการทดแทนไขมันหมูด้วยน้ำมันพืชต่อคุณภาพของไส้กรอกอิมัลชัน, ผลของการทดแทนไขมันหมูด้วยน้ำมันรำข้าวต่อคุณภาพของหมูยอวุ้นเส้น, รายงานโครงการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 50 หน้า

รจนพรรณ บพิตรสุวรรณ และ จตุพร ยืนยิ่ง (2554) การศึกษาลักณะของไส้กรอกแพรงค์เฟอร์เตอร์โดยใช้น้ำมันมะพร้าว, ผลของการทดแทนไขมันหมูด้วยน้ำมันรำข้าวต่อคุณภาพของหมูยอวุ้นเส้น, รายงานโครงการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 40 หน้า

วัฒนี บุญวิทยา. (2542). **เทคโนโลยีเนื้อและผลิตภัณฑ์**. ปทุมธานี : คณะเทคโนโลยี- การเกษตร, สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

สุนทรีย์ แสงอุ่น และ รัชนู บุญจันทร์ (2550) การพัฒนาหมูยอไขมันต่ำโดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองและคาร์ราจีแนน ,ผลของการทดแทนไขมันหมูด้วยน้ำมันรำข้าวต่อคุณภาพของหมูยอวุ้นเส้น, รายงานโครงการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 34 หน้า

สุวภัทร เผ่าเพ็ง และ รัชนีกร สีหะวงษ์ (2553) การพัฒนาไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์โดยใช้อินนูลิน, ผลของการทดแทนไขมันหมูด้วยน้ำมันรำข้าวต่อคุณภาพของหมูยอวุ้นเส้น, รายงานโครงการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี,54 หน้า

การศึกษาคุณภาพของขนมจีนจากส่วนผสมของแป้งมันเทศ

วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์[1*] ปิยะภัทร โสสว่าง[1] ศิริขวัญ คูณกลาง[1] และ กิตติพงศ์ แสงบุตร[1]
[1]สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail : wachirapan.b@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผสมแป้งมันเทศกับสตาร์ชและแป้งชนิดอื่นต่อคุณภาพของขนมจีน โดยการเตรียมส่วนผสมของแป้งมันเทศกับสตาร์ชและแป้งแยกกัน 3 ชนิด คือ สตาร์ชมันเทศ (อะมิโลส 23%) (45, 50 และ55%) สตาร์ชมันสำปะหลัง (อะมิโลส 19%) (20, 25 และ 30%) และแป้งข้าวเจ้า (อะมิโลส 27%) (85, 90 และ 95%) พบว่าส่วนผสมของแป้งมันเทศและแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการทำขนมจีนมีแนวโน้มการจัดเรียงตัวใหม่จากอัตราส่วนของ final viscosity/peak viscosity สูงที่สุด และมีค่าลดลงเมื่อผสมแป้งมันเทศกับสตาร์ชมันเทศและสตาร์ชมันสำปะหลังตามลำดับ ขนมจีนที่ได้จากแป้งมันเทศผสมกับสตาร์ชมันเทศมีแนวโน้มของค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการผสมสตาร์ชมันเทศ ขณะที่ค่าความเหนียวของขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชและแป้งแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการผสมเพิ่มขึ้น พบว่าขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้ามีค่าความแข็งที่สูง ขณะที่ขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันสำปะหลังมีจะเหนียวกว่า และผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมต่อขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมกับแป้งข้าวเจ้ามากที่สุด ดังนั้นการผลิตขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสามารถปรับปรุงคุณภาพของเส้นขนมจีนได้ และการผสมแป้งข้าวเจ้าให้ขนมจีนจากแป้งมันเทศที่มีคุณภาพดีที่สุดในการศึกษานี้

คำสำคัญ: ขนมจีน แป้งมันเทศ สตาร์ชมันเทศ สตาร์ชมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า

Studies on Quality of Thai Noodle Made from Sweet Potato Flour Blends

Wachirapan Boonyaputthipong[1*], Piyaphat Sosawang[1], Sirikwan Koonklang and Kittipong Sangbootr[1]
[1]Division of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University
*E-mail : wachirapan.b@ubu.ac.th

Abstract

The objective of this work was to study the effect of blending sweet potato flour with starches and flour on quality of Thai noodle, called as Khanomjeen. Sweet potato flour was mixed individually with 3 types of starches and flour as following: sweet potato starch (23% amylose) (45, 50 and 55%), tapioca starch (19% amylose) (20, 25 and 30%) and rice flour (27% amylose) (85, 90 and 95%). It was found that rearrangement tendency of the blends used for noodle making as final viscosity/peak viscosity ratio of the mixture of sweet potato and rice flours was higher than that of others. Thai noodle made from sweet potato flour-starch composite had increasing tendency of hardness when the level of blending content of sweet potato starch increased. Higher hardness of noodle was obtained from the blend of sweet potato and rice flours. While the noodle of sweet potato flour mixed with tapioca starch had higher stickiness. For sensory evaluation, the noodle made from the blend of sweet potato and rice flours had the most overall acceptance. It could be concluded that making Thai noodle from sweet potato flour blends was able to improve quality of the noodle. It would also note that blending sweet potato flour with rice flour gave the best quality of the noodle in this study.

Keywords: Thai Noodle, Sweet potato flour, Sweet potato starch, Tapioca starch, Rice flour

บทนำ

ขนมจีน (Thai rice noodle) เป็นผลิตภัณฑ์จำพวกเส้นที่มีการบริโภคมากในประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขนมจีนผลิตจากข้าวเจ้าหรือข้าวเจ้ากล้องที่ผ่านหรือไม่ผ่านการหมัก หรือทำจากแป้งขนมจีนที่ผลิตจากข้าวเจ้า (มผช.500, 2547) การผลิตขนมจีนจากแป้งมันเทศเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มคุณค่าทางอาหารและสีของขนมจีน เนื่องจากมันเทศ (sweet potato, *Impomoea batatas*) ให้คุณค่าทางอาหารสูง เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ สารประกอบฟีโนลิก และแคโรทีน เป็นต้น (Wang and Nie, 2016) จากรายงานการวิจัยของ วชิราพรรณ (2550) พบว่ามันเทศจากอำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์เนื้อสีม่วง (นิโกร 2) พันธุ์เนื้อสีเหลือง (แซง) และพันธุ์เนื้อสีส้ม มีองค์ประกอบทางเคมี (น้ำหนักเปียก) ดังนี้ ความชื้น 60.1-75.6% โปรตีน 1.3-3.1% ไขมัน 0.04-0.12% เถ้า 0.86-0.93% เยื่อใย 0.9-1.1% คาร์โบไฮเดรต 22.0-35.9% น้ำตาลรีดิวซ์ 0.4-3.2% น้ำตาลทั้งหมด 3.3-6.7% และสตาร์ช 4.6-20.7%

มีรายงานการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกเส้นจากมันเทศ เช่น การผลิตวุ้นเส้น (transparent noodle) จากสตาร์ชมันเทศในประเทศจีน 3 สายพันธุ์ คือ XuShu18 (general type) (อะมิโลส 20.0%), SuShu2 (high starch type) (อะมิโลส 19.3%) และ SuShu8 (roasted type) (อะมิโลส 19.6%) ซึ่งสตาร์ชมันเทศพันธุ์ SuShu8 ให้วุ้นเส้นที่มีคุณภาพดีที่สุด (Chen et al., 2002) การผลิตบะหมี่จีนชนิด yellow alkaline noodles และบะหมี่ญี่ปุ่นชนิด white salted noodles จากแป้งสาลี (อะมิโลส 21.3%) ผสมแป้งมันเทศ 4 สายพันธุ์ (อะมิโลส 16.5, 17.6, 17.8 และ 20.5%) จากประเทศฟิลิปปินส์ สัดส่วน 25% พบว่าบะหมี่จากแป้งมันเทศผสมแป้งสาลีและกรดแอสคอบิกจะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นใกล้เคียงบะหมี่จากแป้งสาลี (Collado and Corke, 1996) การผลิตบะหมี่ชนิด Bihon-type noodles จากสตาร์ชมันเทศพันธุ์ทางการค้า (Super Bureau) จากประเทศฟิลิปปินส์ ที่ดัดแปรสตาร์ชทางกายภาพด้วยความร้อนชื้น (100%) และสตาร์ชมันเทศดัดแปร (50%) ผสมกับสตาร์ชข้าวโพด (50%) บะหมี่ที่ได้มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากบะหมี่ Bihon ทางการค้า (Collado et al., 2001) และการผลิตบะหมี่จากแป้งสาลีผสมแป้งจากมันเทศ ซึ่งบะหมี่จากแป้งผสมใช้เวลาในการต้มสุกน้อย น้ำหนักเส้นสุกสูง และมีการดูดน้ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่จากแป้งสาลีอย่างเดียว (Yadav et al., 2014) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกเส้นที่มีคุณภาพดีได้จากสตาร์ชและแป้งจากมันเทศ

จากผลการศึกษาเบื้องต้นในการผลิตเส้นผสมจีนจากแป้งมันเทศ (sweet potato flour) พบว่าขนมจีนจากแป้งมันเทศแม้มีแนวโน้มในการคงรูปเป็นเส้นได้ แต่ขนมจีนมีลักษณะขาดไม่เป็นเส้นยาวและเส้นไม่มีความแข็งแรง อาจเป็นผลเนื่องจากแป้งมันเทศผลิตแบบโม่แห้งโดยไม่มีขั้นตอนการแยกกากใยออก และกากอาจไปขัดขวางการคงรูปเป็นเส้นขนมจีน การศึกษานี้จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพเส้นขนมจีนจากแป้งมันเทศ โดยการผสมแป้งมันเทศกับส่วนผสมอื่นแยกกัน คือ สตาร์ชมันเทศ (sweet potato starch) สตาร์ชมันสำปะหลัง (tapioca starch) และแป้งข้าวเจ้า (rice flour) โดยมีแนวคิดและสมมติฐานว่าการเพิ่มปริมาณสตาร์ชมันเทศซึ่งมีการแยกกากและส่วนผสมอื่นออกในการผลิตซึ่งมีความบริสุทธิ์มากกว่าแป้งมันเทศจะช่วยในการคงรูปเป็นเส้นขนมจีน การผสมสตาร์ชมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณอะมิโลเพคตินและความหนืดสูงเพื่อช่วยการยึดเกาะของเส้นไม่ให้ขาดยุ่ย และการผสมแป้งข้าวซึ่งมีปริมาณอะโลสสูงคาดว่าจะเพิ่มความแน่นเนื้อหรือความแข็งแรงของเส้น

ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผสมแป้งมันเทศกับสตาร์ชและแป้งชนิดอื่น 3 ชนิด คือ แป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ แป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า ต่อคุณภาพของเส้นขนมจีน โดยใช้มันเทศพันธุ์เนื้อสีส้มจากอำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี เป็นวัตถุดิบ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเส้นขนมจีนจากแป้งมันเทศ

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

แป้งมันเทศและสตาร์ชมันเทศผลิตจากมันเทศพันธุ์เนื้อสีส้มจากอำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี โดยวิธีการของวชิราพรรณ (2550) เตรียมแป้งมันเทศแบบโม่แห้ง โดยนำหัวมันเทศที่ล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และฝานเป็นแว่นไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C หลังนั้นนำไปบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh เตรียมสตาร์ชมันเทศแบบโม่เปียก โดยนำมันเทศที่ล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นลดขนาดแล้วมาบดกับน้ำ (อัตราส่วน 1:1) ด้วยเครื่องบด กรองแยกกากและล้างน้ำ 3 ครั้ง ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง จากนั้นรินน้ำทิ้งและล้างตะกอน นำไปตกตะกอนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 4°C ให้ตะกอนนอนก้น และนำตะกอนไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C หลังจากนั้นนำไปบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh สตาร์ชมันสำปะหลังซื้อจาก บริษัท อี ที ซี เอี๊ยบตงจั่น จำกัด และแป้งข้าวเจ้าซื้อจาก บริษัท ไทยเบตเตอร์ฟู้ดส์ จำกัด

2. การวิเคราะห์แป้งและสตาร์ช

วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชมันเทศ สตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งข้าว ตามวิธีของ Juliano (1971) และสมบัติทางความหนืดของแป้งเปียก (pasting properties) ด้วย rapid visco analyser (RVA) (Newport Scientific, RVA-4, Australia) โดยเตรียมน้ำแป้ง (แป้งความชื้น 14% 3 กรัม ในน้ำ 25 มิลลิลิตร) ตั้งโปรแกรมการให้ความร้อนและทำให้เย็น โดยการให้ความร้อนเพิ่มอุณหภูมิจาก 50ºC เป็น 95 ºC และลดอุณหภูมิลงเท่ากับ 50ºC ตามสภาวะของ Standard 1 (Newport Scientific, 1998) แสดงค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และอัตราส่วนของความหนืดสุดท้ายและความหนืดสูงสุด (final viscosity/peak viscosity)

3. การเตรียมขนมจีน

การผลิตขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมกับสตาร์ชและแป้งแยกกัน 3 ชนิด คือ สตาร์ชมันเทศ สตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า โดยร่อนส่วนผสมของแป้งและสตาร์ชแต่ละชนิดผ่านตะแกรงร่อน นวดผสมแป้งกับน้ำเดือด บีบเส้นโดยนำแป้งที่นวดใส่หัวบีบและบีบลงในหม้อน้ำเดือด นำเส้นสุกที่ลอยล้างในน้ำเย็น จับเส้น และสะเด็ดน้ำที่อุณหภูมิห้อง

4. การวิเคราะห์ขนมจีน

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมจีนด้วยเครื่อง texture analyser (LLOYD, USA) โดยวิธี texture profile analysis (TPA) ใช้หัววัด cylinder probe ขนาด 50 มิลลิเมตร วัดค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเหนียว (stickiness) ของขนมจีน และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมจีน โดยทดสอบความชอบของผู้บริโภคแบบ 9-point hedonic scale 9 ระดับ (1=ไม่ชอบมากที่สุด, 2=ไม่ชอบมาก, 3=ไม่ชอบปานกลาง, 4=ไม่ชอบเล็กน้อย, 5=รู้สึกเฉยๆ, 6=ชอบเล็กน้อย, 7=ชอบปานกลาง, 8=ชอบมาก, 9=ชอบมากที่สุด) ด้วยผู้ทดสอบทั่วไป 40 คน ทดสอบขนมจีนด้านสี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวม

5. การวางแผนการทดลอง

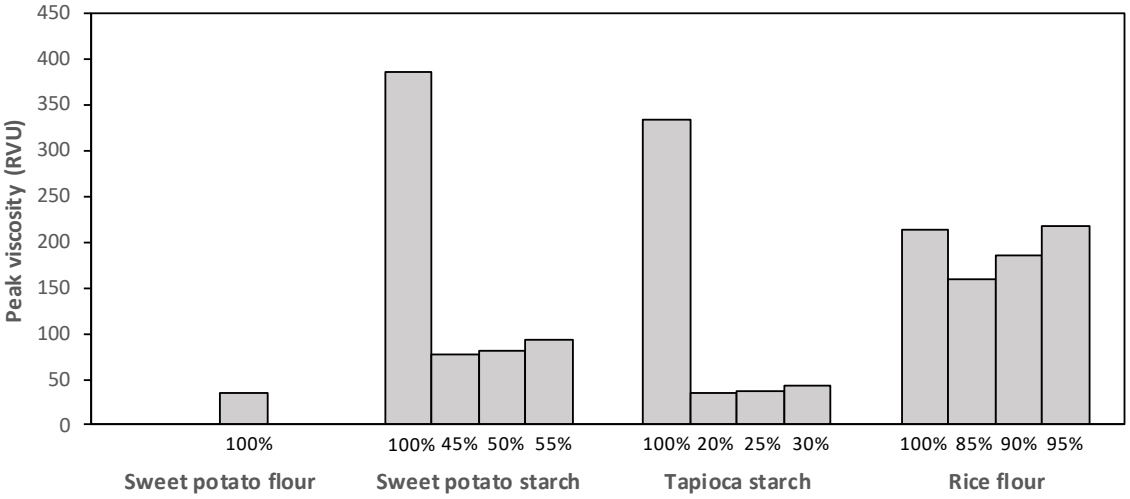
วางแผนการทดลองแบบ Completely randomised design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำการผลิต และการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomised complete block design (RCBD) นำค่าไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

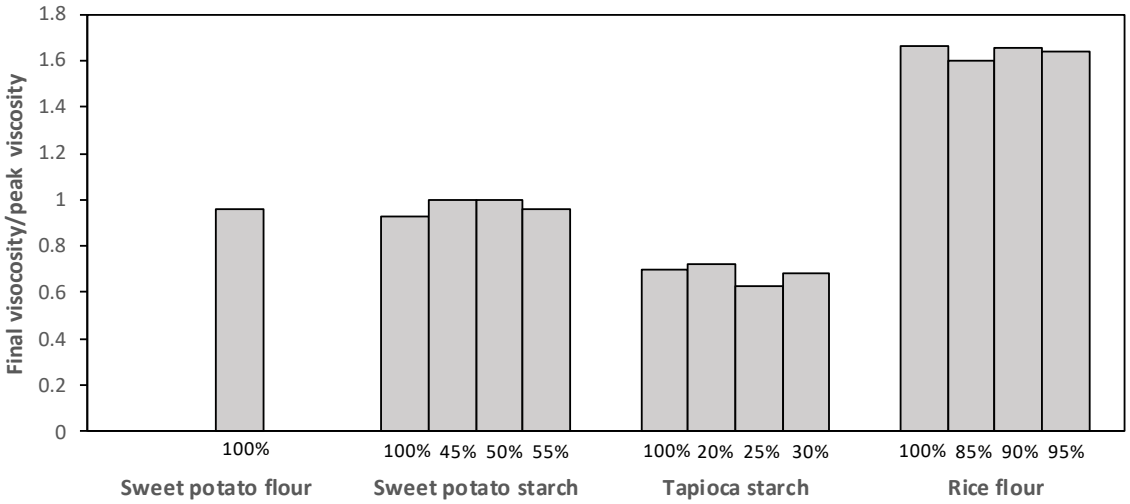
เมื่อทำการผลิตเส้นนำขนมจีนจากแป้งมันเทศพันธุ์เนื้อสีส้มจากอำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี พบว่าขนมจีนจากแป้งมันเทศมีลักษณะที่ขาดและเส้นไม่มีความแข็งแรง อาจเกิดจากการขัดขวางการคงรูปเป็นเส้นขนมจีนของกากที่ไม่ได้แยกออกจากแป้งมันเทศในขั้นตอนการผลิต วชิราพรรณ (2550) รายงานผลงานวิจัยว่าแป้งมันเทศพันธุ์เนื้อสีส้มจากอำเภอน้ำยืนมีสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการคงรูปเป็นเส้นเพียง 58% และเยื่อใย 2.6% (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่สตาร์ชมันเทศที่มีการแยกกากออกในขั้นตอนการผลิตประกอบด้วยสตาร์ช 94% การศึกษานี้จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพของเส้นขนมจีนจากแป้งมันเทศโดยการผสมแป้งมันเทศกับส่วนผสมอื่นแยกกัน 3 ชนิด คือ สตาร์ชมันเทศ (อะมิโลส 23%) สตาร์ชมันสำปะหลัง (อะมิโลส 19%) และแป้งข้าวเจ้า (อะมิโลส 27%) โดยทำการผสมแป้งมันเทศกับสตาร์ชและแป้งแต่ละชนิดในระดับการผสมที่สามารถคงรูปเป็นเส้นขนมจีนได้จากผลการทดลองในเบื้องต้น ดังนี้ สตาร์ชมันเทศ (45, 50, 55%) สตาร์ชมันปะหลัง (20, 25, 30%) และแป้งข้าว (85, 90, 95%)

แป้งและสตาร์ชที่เป็นส่วนผสมในการผลิตเส้นขนมจีนมีสมบัติทางความหนืดของแป้งเปียก วิเคราะห์ด้วย rapid visco analyser (RVA) ดังภาพที่ 1-2 พบว่าแป้งมันเทศซึ่งเตรียมโดยการโม่แห้งโดยไม่มีการแยกกากออกมีค่าความหนืดสูงสุดของแป้งเปียกเมื่อให้ความร้อนหรือค่า peak viscosity ที่ต่ำ (36 RVU) ขณะที่สตาร์ชมันเทศ (386 RVU) สตาร์ชมันสำปะหลัง (333 RVU) และแป้งข้าวเจ้า (214 RVU) มีค่า peak viscosity ที่สูงกว่าแป้งมันเทศ ($p<0.05$) (ภาพที่ 1) เมื่อทำการลดอุณหภูมิค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) คือความหนืดของแป้งเปียกเมื่อทำให้เย็น และอัตราส่วนของความหนืดสุดท้ายต่อความหนืดสูงสุด (final viscosity/peak viscosity) (ภาพที่ 2) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการจัดเรียงตัวใหม่ของสตาร์ชเมื่อทำให้เย็น (retrogradation) และบ่งบอกถึงแนวโน้มในการคงรูปเป็นเส้นที่แข็งแรงของผลิตภัณฑ์จำพวกเส้น จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของ final viscosity/peak viscosity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการผสมสตาร์ชและแป้งเพิ่มขึ้น และเห็นได้ชัดเมื่อผสมแป้งมันเทศกับแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีปริมาณอะมิโลสสูง (27%) มีอัตราส่วน 1.60-1.66 มีค่ามากกว่าแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ (0.96-1.0) และแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง (0.63-0.72) ($p<0.05$) ดังนั้นแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มของความ

คงตัวเมื่อทำให้เย็นมากที่สุด ตามด้วยแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ ขณะที่แป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันสำปะหลังมีความคงตัวของความหนืดเมื่อทำให้เย็นต่ำ สัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชที่ลดลงตามลำดับ



ภาพที่ 1 ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งและสตาร์ชที่ใช้ในการผลิตขนมจีน วิเคราะห์ด้วย rapid visco analyser (RVA)



ภาพที่ 2 อัตราส่วนของ final viscosity/peak viscosity ของแป้งและสตาร์ชที่ใช้ในการผลิตขนมจีน วิเคราะห์ด้วย rapid visco analyser (RVA)

เมื่อนำแป้งและสตาร์ชมาทำเส้นขนมจีนและวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมจีนด้วยเครื่อง texture analyser (ตารางที่ 1) พบว่าขนมจีนจากแป้งข้าวเจ้า 100% ซึ่งเป็นตัวเปรียบเทียบ มีการคงรูปเป็นเส้นยาวแข็งแรง มีค่าความแข็ง (hardness) เท่ากับ 71 N และค่าความเหนียว (stickiness) เท่ากับ 1.11 kgf.mm ขณะที่ขนมจีนจากแป้งมันเทศมีลักษณะที่ไม่คงรูปเป็นเส้นยาว มีค่าความแข็ง เท่ากับ 56 N ต่ำกว่าขนมจีนจากแป้งข้าว 100% ($p<0.05$) และมีค่าความเหนียว เท่ากับ 1.22 kgf.mm ใกล้เคียงขนมจีนจากแป้งข้าวเจ้า 100% ($p>0.05$) และขนมจีนจากสตาร์ชมันเทศมีลักษณะเหนียวเหนอะหนะและจับกันเป็นก้อน มีค่าความแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 94 N ($p<0.05$) และมีค่าความเหนียวที่สูง เท่ากับ 1.74 kgf.mm แต่พบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังไม่สามารถผลิตเส้นขนมจีนที่คงรูปเป็นเส้นได้และมีลักษณะเป็นก้อนจึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของขนมจีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการผสมสตาร์ชและแป้งแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้าทั้ง 3 ระดับการผสม (85, 90, 95%) มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับขนมจีนจากแป้งข้าวเจ้า 100% (ตัวเปรียบเทียบ) ($p>0.05$) และขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันปะหลัง (25, 30%) มีความเหนียวมากที่สุด ($p<0.05$)

จากผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีนด้านความชอบของผู้บริโภค (ตารางที่ 2) พบว่าขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า 95% ได้คะแนนด้านความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ชอบปานกลาง (7 คะแนน) ไม่แตกต่างจากขนมจีนแป้งข้าวเจ้า 100% (ตัวเปรียบเทียบ) ($p>0.05$) ผู้บริโภคมีความชอบขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า (85 และ 90%) ทั้ง 4 ด้าน (สี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวม) อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย (6 คะแนน) แต่ไม่ชอบเล็กน้อยถึงรู้สึกเฉยๆ (4-5 คะแนน) ต่อขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศและสตาร์ชมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ สตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า

ตัวอย่าง	Hardness (N)	Stickiness (kgf.mm)
ขนมจีนแป้งข้าวเจ้า 100% (ตัวเปรียบเทียบ)	71.31±10.62 ^{bc}	1.11±0.39 ^{de}
ขนมจีนแป้งมันเทศ 100%	56.05±5.17 ^{d}	1.22±0.41 ^{cde}
ขนมจีนสตาร์ชมันเทศ 100%	94.44±10.63 ^{a}	1.74±0.58 ^{b}
ขนมจีนสตาร์ชมันสำปะหลัง 100%	NA	NA
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ 45%	44.99±6.74 ^{e}	1.01±0.40 ^{e}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ 50%	51.12±7.95 ^{de}	1.09±0.24 ^{de}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ 55%	65.98±12.39 ^{c}	1.35±0.37 ^{cd}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันปะหลัง 20%	52.72±7.79 ^{d}	1.66±0.38 ^{b}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันปะหลัง 25%	57.38±5.70 ^{d}	2.07±0.48 ^{a}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันปะหลัง 30%	59.52±1.07 ^{d}	2.30±0.39 ^{a}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า 85%	66.05±7.54 ^{c}	1.24±0.26 ^{cde}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า 90%	69.11±5.77 ^{bc}	1.48±0.45 ^{bc}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า 95%	69.76±6.67 ^{bc}	1.70±0.51 ^{b}

$^{a-e}$ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$)

NA = ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากไม่สามารถผลิตเป็นเส้นขนมจีนที่คงรูปได้

ตารางที่ 2 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ สตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	ความแน่นเนื้อ	ความชอบโดยรวม
ขนมจีนแป้งข้าวเจ้า 100% (ตัวเปรียบเทียบ)	7.65±1.38 ^{a}	7.08±1.81 ^{a}	7.08±1.81 ^{a}	7.15±1.36 ^{a}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ 45%	4.31±1.84 ^{d}	4.48±1.83 ^{d}	4.48±1.83 ^{d}	4.57±1.79 ^{d}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ 50%	4.31±1.77 ^{d}	4.45±1.86 ^{d}	4.45±1.86 ^{d}	4.44±1.66 ^{d}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ 55%	4.31±1.98 ^{d}	4.53±1.90 ^{d}	4.53±1.90 ^{d}	4.42±1.88 ^{d}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันปะหลัง 20%	3.96±1.91 ^{d}	4.36±1.96 ^{d}	4.36±1.96 ^{d}	4.54±1.76 ^{d}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันปะหลัง 25%	4.27±1.94 ^{d}	4.40±1.99 ^{d}	4.40±1.99 ^{d}	4.49±1.86 ^{d}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันปะหลัง 30%	4.30±1.79 ^{d}	4.33±1.85 ^{d}	4.33±1.85 ^{d}	4.74±1.88 ^{d}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า 85%	6.01±1.72 ^{c}	5.57±1.71 ^{c}	5.57±1.71 ^{c}	6.28±1.50 ^{c}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า 90%	6.41±1.52^{c}	5.84±1.83^{c}	5.84±1.83^{c}	6.46±1.46^{bc}
ขนมจีนแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า 95%	6.94±1.42^{b}	6.50±1.87^{b}	6.50±1.87^{b}	6.85±1.41^{ab}

$^{a-d}$ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p>0.05$)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการผลิตขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ แป้งมันเทศกับสตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งมันเทศกับแป้งข้าวเจ้า พบว่าการผสมสตาร์ชและแป้งทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อคุณภาพของเส้นขนมจีนและสามารถปรับปรุงคุณภาพของเส้นขนมจีนจากแป้งมันเทศได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวมีค่าความแข็งไม่แตกต่างจากขนมจีนแป้งข้าวเจ้า 100% (ตัวเปรียบเทียบ) ขณะที่เมื่อผสมแป้งมันเทศกับสตาร์ชมันสำปะหลังแม้ว่าจะช่วยในการยึดเกาะของเส้น แต่ขนมจีน

มีค่าความแข็งที่ต่ำและค่าความเหนียวสูงกว่าขนมจีนจากแป้งข้าวเจ้า สำหรับขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันเทศ (ยกเว้นผสม 55%) มีแนวโน้มของค่าความแข็งที่ต่ำกว่าขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า และมีความเหนียวที่น้อยกว่าขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง

ลักษณะของขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสตาร์ชและแป้งแต่ละชนิด มีความสัมพันธ์กับสมบัติทางความหนืดของแป้งเปียกและสอดคล้องกับปริมาณอะมิโลสของสตาร์ช ซึ่งแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันเทศ และสตาร์ชมันสำปะหลังประกอบด้วยอะมิโลส เท่ากับ 27% 23% และ 19% ตามลำดับ โดยสตาร์ชที่มีปริมาณอะโลสสูงมีแนวโน้มการจัดเรียงตัว (final viscosity/peak viscosity) ที่สูง ให้เส้นที่มีความแข็งแรง ขณะที่สตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง (อะมิโลสต่ำ) มีความสามารถในการอุ้มน้ำและความหนืดที่สูง (peak viscosity) แต่มีแนวโน้มการจัดเรียงตัวต่ำ อาจทำให้เส้นขนมจีนที่ได้มีการมีอุ้มน้ำสูงแต่มีความแข็งแรงต่ำ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kasemsuwan et al. (1998) ซึ่งรายงานว่าสตาร์ชถั่วเขียวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสสูง (30.7%) มีค่า setback หรือการจัดเรียงตัวจากการวิเคราะห์ด้วย RVA และความแข็งแรงของเจลสตาร์ชสูง จะให้วุ้นเส้นที่มีคุณภาพที่ดี ขณะที่สตาร์ชมันสำปะหลังที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่า (19.6%) มีค่า setback และความแข็งแรงของเจลสตาร์ชที่ต่ำกว่า วุ้นเส้นที่ได้จะมีความนุ่มมาก และ Chen et al. (2002) รายงานว่าเจลสตาร์ชที่มีความแน่นเนื้อ (firmness) และมีความยืดหยุ่น (elasticity) จะส่งผลให้วุ้นเส้นจากสตาร์ชมันเทศมีคุณภาพดี

ดังนั้นการผลิตขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมสามารถปรับปรุงคุณภาพของคุณจีนได้ และการผสมแป้งมันเทศกับแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีปริมาณอะมิโลสเป็นองค์ประกอบที่สูงทำให้แป้งผสมมีแนวโน้มการจัดเรียงตัวสูง สามารถปรับปรุงคุณภาพขนมจีนจากแป้งมันเทศให้มีลักษณะที่ดี และผู้บริโภคมีความชอบขนมจีนจากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้ามากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ส่งเสริมการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

มผช.500) .2547.มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขนมจีน .(

วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์) .2550 .(*รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของมันเทศ แป้งมันเทศและสตาร์ชมันเทศ จากอำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี.* มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

Chen, Z., Sagis, L., Legger, A., Linssen, J .P., Schols, H .A., & Voragen, A .G) .2002 .(Evaluation of starch noodles made from three typical Chinese sweet-potato starches .*Journal of Food Science, 67*)9(, 3342-3347.

Collado, L .S., & Corke, H) .1996 .(Use of wheat-sweet potato composite flours in yellow-alkaline and white-salted noodles .*Cereal Chemistry, 73*)4(, 439-444.

Collado, L .S., Mabesa, L .B., Oates, C .G., & Corke, H) .2001 .(Bihon-type noodles from heat-moisture-treated sweet potato starch .*Journal of Food Science, 66*)4(, 604-609.

Juliano, B .O) .1971 .(A simplified assay for milled-rice amylose .*Cereal Science Today, 16*)10.(

Kasemsuwan, T., Bailey, T., & Jane, J) .1998 .(Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches .*Carbohydrate Polymers, 32*, 301-312.

Newport Scientific. (1998). *Intruction Manual for the Series 4 Rapid Visco™ Analyser*. Warriewood: Newport Scientific Pty.Ltd.

Tan, H-.Z., Gu, W-.Y., Zhou, J-.P., Wu, W-.G., & Xie, Y-.L) .2006 .(Comparative study on the starch noodle structure of sweet potato and mung bean .*Journal of Food Science, 71*)8(, 447-455.

Wang, S., & Nie, S .Z) .2016 .(Chemical constituents and health effects of sweet potato .*Food Research International, 89*, 90-116.

Yadav, B .S., Yadav, R .B., Kumari, M., & Khatkar, B .S) .2014 .(Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making .*LWT -Food Science and Technology, 57*, 352-358.

การผลิตเครื่องดื่มน้ำมะพร้าวอ่อนเสริมโพรไบโอติก

ฉัตรชยา อ่อนอำไพ[1*] เมทินี มาเวียง[1] กฤษณา ศิริพล[1] และประยงค์ อุดมวรภัณฑ์[1]
[1] สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail : chatchaya.o@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

ทางเลือกของผู้ที่ต้องการได้รับโพรไบโอติกจากสินค้าอาหารในประเทศไทยยังจำกัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์นมหมัก และมักมีปริมาณน้ำตาลสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเครื่องดื่มจากน้ำมะพร้าวที่หมักด้วย *Lactobacillus casei* 431 และแต่งกลิ่นด้วยสมุนไพร ซึ่งพบว่า *L. casei* 431 เจริญได้ดีในน้ำมะพร้าวที่เติมน้ำตาลทราย 5% อินูลิน 2% เมื่อหมักที่ 37°C ระยะเวลา 12-18 ชั่วโมง ได้จำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 8.21±0.03 log CFU/mL การเจริญสัมพันธ์กับการลดลงของค่า pH จึงสามารถใช้ค่า pH เป็นจุดยุติการหมักได้ (ระยะเวลาการหมักแปรผันได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณหัวเชื้อที่ใช้) โดยกำหนดให้ pH ต่ำกว่า 4.3 เป็นจุดยุติการหมัก น้ำมะพร้าวหลังหมักมีปริมาณกรดทั้งหมดประมาณ 0.77±0.06% (เทียบเป็นปริมาณกรดแลคติก) มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 9.55±0.37% น้ำมะพร้าวหมักสูตรที่ผสมกับน้ำสมุนไพร ในอัตราส่วน 1:1 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าสูตรที่ผสมในอัตราส่วน 1:3 และหลังการผสมน้ำมะพร้าวหมักกับน้ำสมุนไพร เครื่องดื่มมี *L. casei* 431 เริ่มต้น 8.15±0.01 และ 7.98±0.42 log CFU/mL คงเหลือ 7.47±0.41 และ 7.21±0.37 log CFU/mL ตามลำดับ หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนาน 41 วัน หากปรับสูตรน้ำมะพร้าวหมักผสมกับน้ำสมุนไพรอัตราส่วน 1:1 ให้มีรสหวานลดลง และหรือ เพิ่มความเปรี้ยว น่าจะทำให้ได้รับการยอมรับมากขึ้น ทั้งนี้การปรับสูตรโดยเฉพาะปรับเพิ่มรสเปรี้ยวอาจส่งผลกระทบด้านลบต่อการรอดชีวิตของ *L. casei* 431 ได้

คำสำคัญ : โพรไบโอติก น้ำมะพร้าวหมัก แลคโตบาซิลลัส

Production of Probiotic Young Coconut Water Beverage

Chatchaya Onumpai[1*] Metinee Maweang[1] Kritsna Siripon[1] and Prayong Udomvarapant[1]
Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture Ubon Ratchathani University
*E-mail : chatchaya.o@ubu.ac.th

Abstract

In Thailand, the majority probiotic food is fermented dairy products and most of which carry high sugar amount. According to this reason, the feasibility of producing probiotic coconut water containing *Lactobacillus casei* 431 and herbs was the aim of our work. We found that *L. casei* 431 could grow well in young coconut water supplemented with 5% sucrose and 2% inulin. The *L. casei* 431 viable count reached 8.21±0.03 log CFU/mL after 12-18 hour of fermentation at 37°C. As the growth of *L. casei* 431 was well related with the reduction of pH value, the fermentation process could use final pH of coconut water (<4.30) as an indicator (as the fermentation time varied depending on the inoculum size). The fermented coconut water contained 0.77±0.06% total titratable acidity (calculated as % lactic acid) and 9.55±0.37% total sugar. Fermented young coconut water was mixed with drinking water flavored by herb in the ratio of 1:1 and 1:3 w/w. *L. casei* 431 viable count was 8.15±0.01 and 7.98±0.42 log CFU/mL in 1:1 and 1:3 formula, respectively. Consumer preferred the 1:1 formula than 1:3 formula. After 41day storage at refrigerated temperature, the *L. casei* 431 number were lower than initial level (from 8.15±0.01 and 7.98±0.42 log CFU/mL to 7.47±0.41 and 7.21±0.37 log CFU/mL, respectively). Decrease in sweetness and/or increase in sourness intensity may help improve consumer preference. However, sugar content and acidity might on negatively affect the viability of *L. casei* 431.

Keywords : Probiotic, Fermented coconut water, *Lactobacillus*

บทนำ

คนไทยบริโภคน้ำตาลในปริมาณสูงกว่าที่องค์การอนามัยโลกแนะนำให้ไม่ควรเกิน 25 กรัมต่อวัน (ประมาณ 6 ช้อนชา) ซึ่งนอกจากน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในอาหารตามธรรมชาติแล้ว คนยังได้รับน้ำตาลจากส่วนที่ถูกใช้ปรุงให้รสหวานแก่อาหารและเครื่องดื่ม และเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์มีประโยชน์ คือ กลุ่มนมหมัก พบว่าในนมเปรี้ยว นมเปรี้ยวปรุงแต่ง โยเกิร์ต และโยเกิร์ตปรุงแต่ง มีปริมาณน้ำตาลเฉลี่ย 15 19 11 และ 16 กรัม ต่อหน่วยบริโภค ตามลำดับ (สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, http://food.fda.moph.go.th/data/document/2558/CS_sugar.pdf) คิดเป็นปริมาณ 3–5 ช้อนชาต่อหน่วยบริโภค สวนทางกับภาพลักษณ์อาหารส่งเสริมสุขภาพที่มีจุลินทรีย์มีประโยชน์ ซึ่งทำให้สามารถตั้งข้อสังเกตถึงข้อด้อยของผลิตภัณฑ์ที่มีโพรไบโอติกได้ว่า 1) สำหรับผู้บริโภคที่ไม่ต้องการสินค้าที่มีน้ำตาลปริมาณสูง การได้รับปริมาณน้ำตาลจากอาหารและเครื่องดื่มเกินความจำเป็น จะเป็นส่วนหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาโรคเรื้อรังไม่ติดต่อได้ (Non-communicable diseases: NCDs) และแม้ปัจจุบันผู้ผลิตผลิตภัณฑ์นมหมักได้เริ่มลดการใช้น้ำตาลในผลิตภัณฑ์นมหมักโดยใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล แต่ 2) ยังมีกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ต้องการบริโภคสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล นอกจากนี้ ทางเลือกของผู้ที่ต้องการได้รับโพรไบโอติกจากสินค้าอาหารในประเทศไทยยังมีจำกัดอยู่กับอาหารประเภทนม ซึ่งไม่เหมาะกับผู้ที่ต้องการหลีกเลี่ยงไขมันจากนม หรือผู้บริโภคที่กินอาหารมังสวิรัติ

จากข้อสังเกตดังกล่าวผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะหาแนวทางในการพัฒนาเครื่องดื่มที่ใช้พืชเป็นวัตถุดิบหลัก ผ่านการหมักเพื่อให้มีแบคทีเรียแลคติกมีชีวิตโดยใช้นมเป็นส่วนผสม มีการใช้น้ำตาลเพื่อปรุงแต่งรสน้อย และนำกลิ่นสมุนไพรมาใช้ เพื่อให้ได้เป็นน้ำหมักพืชปรุง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มผช.481/2547) เพื่อสร้างความแตกต่างจากสินค้าที่มีจำหน่ายแล้ว สร้างทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคและสามารถเข้าถึงกลุ่มผู้บริโภคได้หลากหลายขึ้น แต่ไม่ได้มุ่งใช้ประโยชน์ของสมุนไพรต่อสุขภาพ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มได้รับผลกระทบจากกรดแลคติกและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในระหว่างการหมักด้วยแบคทีเรียแลคติก ดังนั้นการศึกษานี้ เลือกใช้ *Lactobacilllus casei* 431 เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่ส่งผลกระทบด้านลบต่อกลิ่นน้อย และสร้างแก๊สในปริมาณที่ต่ำมากพอที่จะไม่ก่อให้เกิดลักษณะ Fizzy (มีความซ่าเนื่องจากมีก๊าซ) ในเครื่องดื่ม วัตถุดิบจากพืชที่เลือกใช้ต้องเป็นแหล่งของคาร์บอน ไนโตรเจน วิตามินและแร่ธาตุอื่นๆ ซึ่งเอื้อต่อการเจริญของ *L. casei* 431 ให้เพิ่มจำนวนได้มากกว่า 10^8 CFU/mL ในระหว่างการหมัก โดยที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารแก่จุลินทรีย์อื่นลงไปอีกนอกจากแหล่งของคาร์บอน และหลังการหมักต้องได้เครื่องดื่มที่มีกลิ่น รส ที่เอื้อต่อการผสานกลิ่นสมุนไพรลงไป ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้น้ำมะพร้าว

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังนี้ 1. การหมักน้ำมะพร้าวด้วย *L. casei* 431 เพื่อทราบจำนวนสูงสุดของเซลล์ที่เจริญได้ และยืนยันความเป็นไปได้ในการนำน้ำมะพร้าวหมักไปเจือจางด้วยน้ำสมุนไพร 2. การเจือจางน้ำมะพร้าวหมักด้วยน้ำสมุนไพร ซึ่งนอกจากช่วยปกปิดกลิ่นและรสที่เปลี่ยนไปจากการหมักแล้ว ยังเป็นการลดความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำมะพร้าวหมักลง (มีน้ำตาลทรายเพื่อปรุงรสหวานไม่เกิน 5%) และได้เป็นน้ำหมักพืชปรุงที่มีลักษณะของ Infused water ทั้งนี้เครื่องดื่มยังต้องมีจำนวนโพรไบโอติกรวม ประมาณ 10^9 CFU/ หน่วยบริโภค (กำหนดไว้ที่ประมาณ 200 mL) เครื่องดื่มถูกทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อทราบความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อกลิ่น และรสชาติ รวมทั้งทดสอบการรอดชีวิตของโพรไบโอติกระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดความเป็นไปได้หากต้องการผลิตเพื่อจำหน่ายจริง

วิธีการวิจัย

หัวเชื้อโพรไบโอติก ที่ใช้คือ *L. casei* 431 ซึ่งเป็นแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีจำหน่ายทางการค้าในรูปผงเชื้อที่ผ่านการ Freeze-drying (Christen Hansen, จาก Brendtagg Thailand) น้ำมะพร้าว 100% (young green coconut water, UHT ยี่ห้อ UFC) อินูลิน (Fibroline)

1. การหมักน้ำมะพร้าวโดย *L. casei* 431

1.1 การฆ่าเชื้อน้ำมะพร้าวเพื่อใช้หมัก

เติมน้ำตาลทราย และ อินูลิน ลงในน้ำมะพร้าว (โดยกำหนดให้ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 5% และ 2% w/w ตามลำดับ จากนั้นต้มให้เดือดนาน 10 นาที (ปริมาณน้ำมะพร้าวรวม 1500 mL) แล้วจึงแบ่งน้ำมะพร้าว ปริมาตร 500 mL บรรจุลงในขวดดูแรนขนาดบรรจุ 1,000 mL ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ (121℃ 15 นาที) แล้วและถูกลวกในน้ำเดือดอีกครั้งก่อนเปิดฝาเพื่อทำการบรรจุ การทำงานใช้ aseptic technique และการบรรจุเป็นการบรรจุขณะร้อน

1.2 การหมักน้ำมะพร้าว

หลังจากที่อุณหภูมิของน้ำมะพร้าวหลังการต้มฆ่าเชื้อลดลงเป็นประมาณ 37 °C แล้ว จึงเติมหัวเชื้อ *L. casei* 431 โดยกำหนดให้มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น ประมาณ 10^6-10^7 CFU/mL ทำการบ่มน้ำมะพร้าวที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการเขย่า สุ่มเก็บตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียแลคติก จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา รวมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ pH การทดลองมีการทำซ้ำ 2 ซ้ำ (External replication)

2. การทดลองเจือจางน้ำมะพร้าวหมักด้วยน้ำสมุนไพร

2.1 การเตรียมน้ำสมุนไพร

น้ำมะพร้าวที่ผ่านการหมักและมี pH ต่ำกว่า 4.5 ถูกนำมาผสมกับน้ำต้มสมุนไพร (ใช้ขิงสดและโรสแมรี่สด นำมาต้มในน้ำเดือด โดยไม่มีการเติมน้ำตาลเพิ่ม เป็นเวลานาน 5 นาที และตรวจไม่พบแบคทีเรียและยีสต์ รา ในน้ำต้มสมุนไพรนี้ใช้ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเจือจางในการวิเคราะห์) เครื่องดื่มสมุนไพร (น้ำมะพร้าวหมักผสมกับน้ำต้มสมุนไพร) ถูกนำไปบรรจุในขวดแก้วมีฝาปิดสนิทซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อ (121℃ 15 นาที) แล้วและถูกลวกในน้ำเดือดอีกครั้งก่อนเปิดฝาเพื่อทำการบรรจุ ขั้นตอนการบรรจุ ทำโดยใช้ aseptic technique เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่น และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 ℃

2.2 การรอดชีวิตของ *L. casei* 431 ในระหว่างการเก็บรักษาเครื่องดื่มที่อุณหภูมิต่ำ

ตัวอย่างน้ำสมุนไพรถูกสุ่มมาวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียแลคติก จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์ และ รา ตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual (U.S.FDA, https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam) รวมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ pH ทุกๆ 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 35 ของการเก็บรักษา การทดลองมีการทำซ้ำ 2 ซ้ำ (External replication)

2.3 การทดสอบความชอบโดยผู้บริโภค

น้ำมะพร้าวหมักที่ถูกเจือจางด้วยน้ำสมุนไพร (ขิงและโรสแมรี่) ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:3 โดยน้ำหนักของน้ำมะพร้าวหมักต่อน้ำสมุนไพร ถูกนำมาทดสอบความชอบโดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 33 คน อุณหภูมิของเครื่องดื่มถูกควบคุมไว้ที่ไม่เกิน 8 องศาเซลเซียส ขณะทดสอบชิม ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทดสอบมี 3 ด้าน ได้แก่ รสเปรี้ยว รสหวาน และความหอม ใช้การทดสอบแบบ 5-scale just about right ซึ่งผู้บริโภคให้คะแนนตามความพึงพอใจของตน ในระดับคะแนน 1-5 (1= น้อยไปมาก 2 = น้อยไป 3 = พอดี 4 = มากไป และ 5 = มากเกินไปมาก)

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดสอบผู้บริโภคด้านรสเปรี้ยว รสหวาน และกลิ่นหอมของเครื่องดื่ม ด้วยวิธี 5-scale just about right ถูกนำมาแจกแจงความถี่และแสดงผลด้วยกราฟแจกแจงความถี่ และคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสแต่ละด้านถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่าแตกต่างจากระดับพอดี (คะแนน = 3) หรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดย t-test ดังนี้

$$t = \frac{average - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

โดยที่ average คือ ค่าคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบ

μ คือ ค่าคะแนน ของระดับพอดี

s คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

n คือ จำนวนข้อมูล (ผู้ทดสอบชิม)

หากค่า *t* ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า หรือ มากกว่าหรือเท่ากับ 1.96 หมายถึงลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านนั้นยังไม่อยู่ในระดับพอดี

3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตัวอย่างเครื่องดื่มถูกนำไปเจือจางให้มีจำนวนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการนับจำนวนโคโลนีโดยการเพาะเลี้ยงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ จำนวน *L. casei* 431 วิเคราะห์โดยการเพาะเลี้ยงใน deMan, Rogosa and Sharpe (MRS) agar เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ37 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด วิเคราะห์โดยการเพาะเลี้ยงใน Plate count agar เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จำนวนยีสต์และรา วิเคราะห์โดยการเพาะเลี้ยงใน Potato dextrose agar เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน (ตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual) (U.S.FDA, https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam) ค่า pH วัดโดย pH meter ปริมาณกรดทั้งหมดวิเคราะห์โดยวิธีการไตเตรทกับ สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ใช้วิธีของ Lane และ Eynon (ICUMSA, 2005)

ผลการวิจัย

1. การหมักน้ำมะพร้าวโดย *L. casei* 431

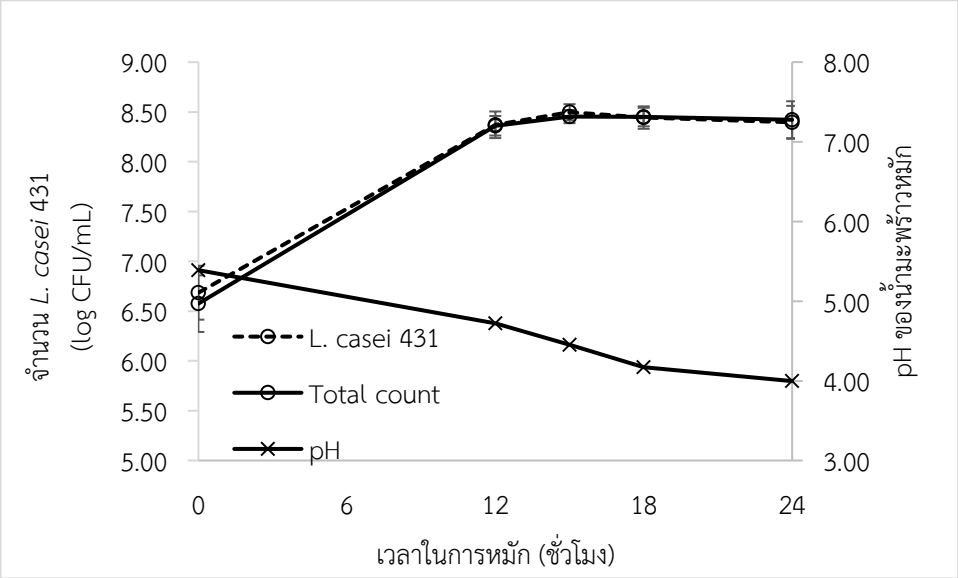
ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 346 พ.ศ. 2555 กำหนดว่าอาหารที่มีโพรไบโอติกจำเป็นต้องมีปริมาณจุลินทรีย์สายพันธุ์นั้นๆ ไม่ต่ำกว่า 10^6 CFU/mL (หรือ /g) ตลอดอายุการเก็บรักษา และเพื่อเป็นการประกันถึงผลดีต่อสุขภาพที่จะได้รับจากการบริโภคอาหารที่มีโพรไบโอติก โดยทั่วไปกำหนดให้ผู้บริโภคจำเป็นต้องได้รับในปริมาณ 10^9 CFU ต่อหนึ่งวัน ดังนั้นผู้ผลิตอาหารหรือเครื่องดื่มหมักด้วยโพรไบโอติกจึงพยายามเพาะเลี้ยงโพรไบโอติกในอาหารหมักนั้นให้ได้จำนวนสูงที่สุด และรักษาปริมาณโพรไบโอติกสายพันธุ์นั้นๆ ให้มีจำนวนคงอยู่สูงที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา โดยให้ยังคงมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ผู้วิจัยเลือกนำน้ำมะพร้าวมาใช้ในการหมัก

การทดลองได้กำหนดให้มีจำนวน *L. casei* 431 ในหัวเชื้อมากกว่า 6 log CFU/mL เพื่อประกันความสำเร็จของการหมักทั้งด้านความปลอดภัยและคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยหลังการหมักประมาณ 12 ชั่วโมง จำนวน *L. casei* 431 เพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 8 log CFU/mL (เพิ่มขึ้นจากจำนวนเริ่มต้นประมาณ 2 log cycle) จำนวนโคโลนีที่นับได้จากการเพาะเลี้ยงเพื่อนับจำนวนแบคทีเรียบนอาหาร MRS agar และ จากการวิเคราะห์จำนวน จุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน (ดังแสดงในภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่พบในน้ำมะพร้าวมาจากหัวเชื้อที่เจริญเพิ่มจำนวน ตามที่ผู้วิจัยคาดหมายไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *L. casei* 431 สามารถเพิ่มจำนวนได้ดีในน้ำมะพร้าวโดยไม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มแหล่งของสารอาหารอื่นลงไปนอกจากน้ำตาลและอินูลิน และยังสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วแม้เป็นการหมักโดยไม่มีการเขย่า

การเลือกน้ำมะพร้าวมาใช้ในการทดลองนี้ได้ตัดสินจากข้อมูลสมบัติทางเคมีของน้ำมะพร้าวอันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งโดยตรงต่อการเจริญและการรอดชีวิตของหัวเชื้อ ดังนี้ 1. น้ำมะพร้าวมีค่า pH เฉลี่ย 5.5±0.3 ใกล้เคียงกับค่า pH ที่ *L. casei* 431 สามารถเจริญได้ดีที่สุด (ข้อมูลจากผู้ผลิตหัวเชื้อ ระบุว่าเจริญได้ดีที่ pHประมาณ 6) และไม่พบรายงานสารมีฤทธิ์ต้านจุลชีพในน้ำมะพร้าว 2. น้ำมะพร้าวมีสารอาหารที่จำเป็นที่เพียงพอต่อการเจริญของหัวเชื้อ กล่าวคือ มีทั้งแหล่งของคาร์บอน ไนโตรเจน (ในน้ำพร้าว มีโปรตีน 0.25±0.26 g/100 mL) รวมทั้ง วิตามิน และ แร่ธาตุด้วย (Yong et al., 2009; Prades et al., 2012) เซลล์แบคทีเรียหลายสายพันธุ์สามารถเจริญได้ดีน้ำมะพร้าว ดังเช่นที่มีการใช้ *Acetobacter xylinum* หมักน้ำมะพร้าว (mature coconut water) เพื่อผลิตวุ้นสวรรค์ (Nata de coco) และจากการสำรวจงานวิจัยอื่น พบเคยมีการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียแลคติกในน้ำมะพร้าวซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องดื่มที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพมาบ้างแล้ว งานวิจัยของ Kantachote et al. (2017) เพาะเลี้ยง *Lactobacillus plantarum* DW12 ในน้ำมะพร้าว โดยไม่มีการเติมสารอาหารเพิ่ม พบว่าได้จำนวนเซลล์สูงสุดหลังการหมักนาน 24 ชั่วโมง เท่ากับ 8.34 ±0.03 log CFU/mL เพิ่มขึ้นจากหัวเชื้อตั้งต้น ประมาณ 1.34 log cycle ทั้งนี้การเพิ่มแหล่งของไนโตรเจนนอกเหลือจากแหล่งของคาร์บอน อาจช่วยให้มีการเจริญของหัวเชื้อที่เร็ว และได้จำนวนเซลล์สูงสุดมากขึ้นได้ เช่นข้อมูลของ Prodo et al. (2015) ที่เพาะเลี้ยง *Lactobacillus plantarum* AC-1 ผู้วิจัยสามารถได้ปริมาณเซลล์มากถึง 9.3 log CFU/mL เพิ่มขึ้นจากหัวเชื้อตั้งต้น ประมาณ 2 log cycle หลังการหมัก 8 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยได้เลือกเติม yeast extract และ soy protein hydrolysate ลงไปในน้ำมะพร้าว อย่างไรก็ตามอาจส่งผลกระทบด้านลบต่อกลิ่นและรสของเครื่องดื่มได้

ด้วยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องน้ำหมักพืช (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มผช.481/2547) กำหนดให้น้ำหมักพืชมีค่า pH ต่ำกว่า 4.3 ทำให้พบข้อสังเกตว่าระยะเวลาการหมักที่ *L. casei* 431 เจริญเพิ่มจำนวนขึ้นจนน้ำมะพร้าวหมักมี pH ต่ำกว่า 4.3 ขึ้นอยู่กับจำนวน *L. casei* 431 ในหัวเชื้อ กล่าวคือ หากมีจำนวนเริ่มต้นประมาณ 6 log CFU/ mL การลดลงของ pH ของน้ำมะพร้าวหมักจนมีค่าต่ำกว่า 4.3 ใช้เวลาการประมาณ 18 ชั่วโมง แต่หากมีจำนวน *L. casei* 431 เริ่มต้นสูงขึ้น

(มากกว่า 6.7 log CFU/ mL) ใช้เวลาในการหมักน้ำมะพร้าวจนมีค่า pH ต่ำกว่า 4.3 ใช้เวลาประมาณ 12-15 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสามารถยุติการหมักหลังจากที่น้ำมะพร้าวมี pH ต่ำกว่า 4.3 ได้ โดยน้ำมะพร้าวหลังหมักจนมี pH ประมาณ 4.3 มีปริมาณกรดทั้งหมดเทียบเป็นปริมาณกรดแลคติก ประมาณ 0.77±0.06% และได้จำนวน *L. casei* 431 มากกว่า 8 log CFU/ mL ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำมะพร้าวหมักมี 9.55±0.37 % ซึ่งมาจากน้ำตาลซูโครส ในน้ำตาลทราย กลูโคส และฟรุคโทสที่พบได้ในอินูลินที่ถูกเติมลงไปในน้ำมะพร้าวแล้ว ยังมีน้ำตาลที่พบโดยเฉลี่ย 2.6-5.23 % ในน้ำมะพร้าวตามธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่คือน้ำตาลซูโครส ฟรุคโทสและกลูโคส (Yong et al., 2009; Prades et al., 2012) นอกจากนี้น้ำตาลที่พบยังอาจเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ที่ผลิตจากหัวเชื้อที่สามารถ Hydrolyse อินูลิน และ ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้เป็นน้ำตาลอีกด้วย (Mensink et al., 2015) อย่างไรก็ตามน้ำมะพร้าวหมักยังจะสามารถถูกทำเจือจางลงในขั้นตอนถัดไปเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ต้องได้เครื่องดื่มที่มีน้ำตาลปริมาณต่ำ



ภาพที่ 1 การเจริญของ *L. casei* 431 และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะพร้าวระหว่างการหมัก (static fermentation) ที่อุณหภูมิ 37 °C ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

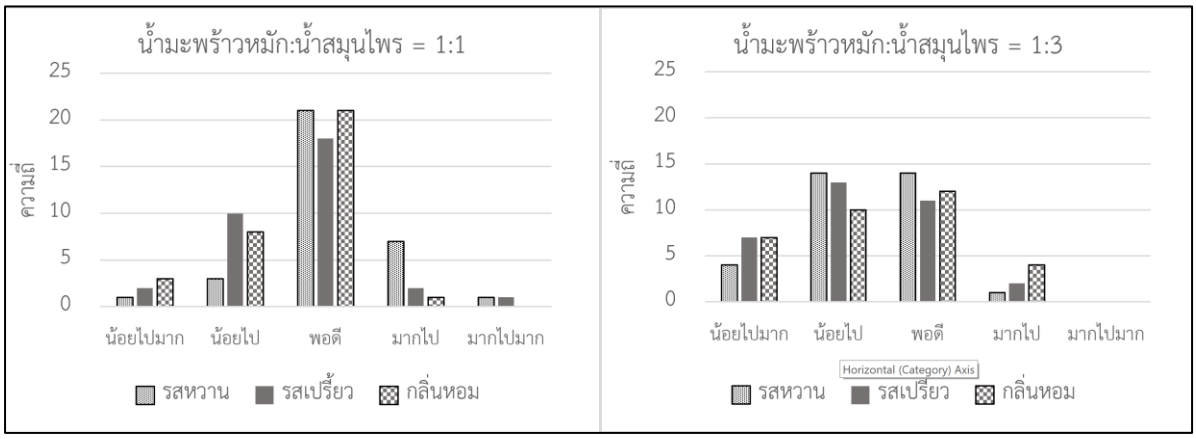
เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการพัฒนาน้ำสมุนไพรในครั้งนี้ ต้องการเครื่องดื่มที่คล้ายกับผลิตภัณฑ์ Infused water ที่ให้กลิ่นสมุนไพรและมีรสหวานบ้างซึ่งจะสามารถดื่มและให้ความพึงพอใจในรสและกลิ่น รวมทั้งแบคทีเรียโพรไบโอติกยังสามารถรอดชีวิตได้ดีในระหว่างการเก็บรักษา หลังการหมักเพื่อเพิ่มจำนวน *L. casei* 431 ในน้ำมะพร้าว พบแบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนได้มากกว่า 8.21 log CFU/ mL มีปริมาณสูงเพียงพอที่นำน้ำมะพร้าวหมักไปเจือจางลงด้วยน้ำสมุนไพรโดยยังเป็นไปตามเงื่อนไข คือ 1) มีจำนวนเชื้อมากกว่า 6 log CFU/ mL และ ในหนึ่งหน่วยบริโภค (ประมาณ 200 mL) ยังคงมีจำนวนโพรไบโอติกมีชีวิตประมาณ 9 log CFU/ mL การเจือจางด้วยน้ำสมุนไพรที่ให้กลิ่นหอม สดชื่น ยังช่วยปรับลดความเป็นกรด (acidity) ที่เกิดจากการผลิตกรดโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักด้วย การผสมน้ำสมุนไพรที่ให้กลิ่นหอม ได้แก่ผสมน้ำมะพร้าวหมักกับน้ำสมุนไพรในอัตราส่วน 1:1 และ 1:3 โพรไบโอติกหลังการเจือจาง ในอัตราส่วน 1:1 มีจำนวนระหว่าง 8.08±0.01 ถึง 8.27±0.17 log CFU/ mL และหลังการเจือจางในอัตราส่วน 3:1 มีจำนวน 7.98±0.42 log CFU/ mL เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

2. การยอมรับของผู้บริโภค

ปัจจุบันมีความนิยมดื่มน้ำมะพร้าวมากขึ้นโดยไม่จำกัดเฉพาะผู้บริโภคในประเทศเขตร้อน น้ำมะพร้าวเป็นแหล่งของน้ำและอิเล็กโทรไลต์ตามธรรมชาติ และให้ความสดชื่น เนื่องจากมีน้ำตาล โดยเฉลี่ย 2.7 g/100 mL ซึ่งส่วนใหญ่คือน้ำตาลซูโครสและฟรุคโทส (Prades et al., 2012; Kantachote et al., 2017) เพาะเลี้ยง *Lactobacillus plantarum* DW12 (เป็นสายพันธุ์ที่สามารถผลิต γ-aminobutyric acid (GABA) vitamin B12 สารต้านอนุมูลอิสระ) ในน้ำมะพร้าว(mature coconut water) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตกะทิ โดยผู้วิจัยใช้เวลาในการหมักนาน 48 ชั่วโมง จุลินทรีย์สายพันธุ์นี้เพิ่มจำนวน จาก 7 log CFU/mL เป็น 8.34 log CFU/mL pH ของน้ำมะพร้าวหมักลดลงจาก 6.00±0.01 เป็น 3.30±0.01 มีปริมาณกรด 0.86±0.00

% ผู้วิจัยเลือกใช้การเติมน้ำผึ้ง 20% และ น้ำดื่ม 10% เพิ่มความหวานและได้รับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค 4.13±0.94 จากคะแนนเต็ม 5 (ประเมินแบบ 5-scale hedonic scale)

เครื่องดื่มน้ำมะพร้าวหมักที่แต่งกลิ่นด้วยน้ำสมุนไพร ถูกนำมาทดสอบความชอบโดยใช้ 5-scale just about right พบว่าน้ำมะพร้าวหมักที่เจือจางด้วยน้ำสมุนไพรในอัตราส่วน 1:3 ผู้บริโภคเกินกว่าร้อยละ 50 ให้ความเห็นว่ารสหวาน รสเปรี้ยวและกลิ่นหอมน้อยไป และค่าคะแนนเฉลี่ยที่ได้ต่ำกว่าระดับพอดี (-2.36 ± 0.71, -2.24±0.87 และ -2.39±0.97 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (ค่า *t* แสดงในตารางที่ 1) สูตรที่ผสมในอัตราส่วน 1:1 ผู้บริโภคให้คะแนนรสหวานอยู่ในระดับพอดี (คะแนนเฉลี่ย 3.12±0.74) แต่รสเปรี้ยวและความหอมน้อยไป และค่าคะแนนเฉลี่ยที่ได้ต่ำกว่าระดับพอดี (-2.70±0.81 และ -2.61±0.70 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (ค่า *t* แสดงในตารางที่ 1) ในด้านรสหวานอาจกล่าวได้ว่าการเจือจางในระดับ 1:1 ทำให้น้ำตาลในเครื่องดื่มมีค่าประมาณ 5% ในขณะที่การเจือจางในระดับ 1:3 มีน้ำตาลในเครื่องดื่มต่ำกว่า คือ ประมาณ 3.3% ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อเครื่องดื่มสูตรที่ผสมในอัตราส่วน 1:1 และรู้สึกว่าเครื่องดื่มมีลักษณะที่ดื่มง่ายและมีกลิ่นหอม และหากปรับเพิ่มรสเปรี้ยวและกลิ่นหอม เช่น การใช้มะนาวหรือเลมอน น่าจะสามารถทำให้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของน้ำมะพร้าวหมักที่เจือจางด้วยน้ำสมุนไพรในอัตราส่วน 1:1 และ 1:3

ตารางที่ 1 ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสหวาน รสเปรี้ยว กลิ่นหอม ของ น้ำมะพร้าวหมักน้ำสมุนไพร: ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:3

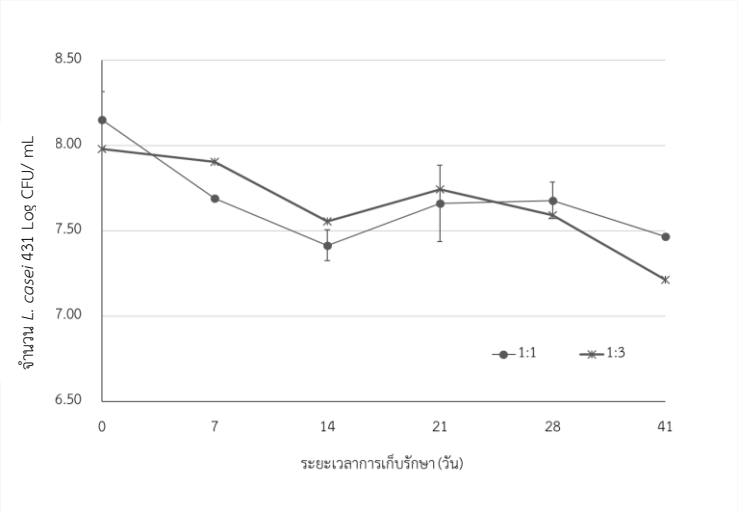
น้ำมะพร้าวหมัก: น้ำสมุนไพร =1:3	**รสหวาน**	**รสเปรี้ยว**	**กลิ่นหอม**	**น้ำมะพร้าวหมัก: น้ำสมุนไพร = 1:1**	**รสหวาน**	**รสเปรี้ยว**	**กลิ่นหอม**
average	2.36	2.24	2.39	average	3.12	2.70	2.61
s	0.74	0.87	0.97	s	0.74	0.81	0.70
t	-4.92	-5.02	-3.60	*t*	0.94	-2.15	-3.21

เนื่องจากจำนวน *L. casei* 431 อาจลดลงไปได้อีกในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น และโดยเฉพาะจากสารที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพในสมุนไพร จึงจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลการรอดชีวิตของ *L. casei* 431 ระหว่างการเก็บรักษาเครื่องดื่มในอุณหภูมิต่ำด้วย (ตู้เย็น)

3. การรอดชีวิตระหว่างการเก็บรักษา

ในภาพรวมของทุกสิ่งทดลอง พบว่าค่า pH ของเครื่องดื่มทุกสิ่งทดลอง มีการลดลงจากประมาณ 4.3 ไปเป็นประมาณ 4.0 หลังเก็บรักษา 41 วัน และจำนวน *L. casei* 431 มีชีวิตลดลงตั้งแต่หลังเก็บรักษาไป 7 วัน จนถึง 14 วัน หลังจากนั้นจำนวนจุลินทรีย์โพรไบโอติกมีชีวิตมีจำนวนค่อนข้างคงที่ไปจนถึงวันที่ 41 โดยจำนวนที่ลดลงมีค่าน้อยกว่า 1 log CFU/mL ทำให้

หลังการเก็บรักษามีจำนวน *L. casei* 431 มีชีวิต คงเหลือ 7.47±0.41 และ 7.21±0.37 ในน้ำมะพร้าวหมักสูตรที่ผสมกับน้ำสมุนไพรในอัตราส่วน 1:1 และ 1:3 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจำนวนโพรไบโอติกมีชีวิตในทุกสิ่งทดลอง มีสูงตามเป้าหมายที่วางไว้คือ มากกว่า 7 log CFU/ mL ตลอดการเก็บรักษา โดยจำนวนยีสต์ และรา ไม่เกินปริมาณที่กฎหมายกำหนด คือ ต้องไม่เกิน 10 CFU/mL (ตรวจไม่พบยีสต์และรา จึงไม่ได้แสดงผลการทดลอง)



ภาพที่ 3 จำนวนแบคทีเรียแลคติกในน้ำมะพร้าวหมักกลิ่นสมุนไพรในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พบทางเลือกหนึ่งของการผลิตเครื่องดื่มโพรไบโอติกที่แตกต่างจากสินค้าที่มีจำหน่ายอยู่ในประเทศไทย โดยน้ำมะพร้าวเติมน้ำตาลทราย 5% และอินูลิน 2% สามารถทำให้ *L. casei* 431 เจริญเพิ่มจำนวนขึ้นจากปริมาณเริ่มต้นได้ประมาณ 2 log CFU/mL และมีปริมาณมากพอที่จะสามารถนำไปเจือจางด้วยน้ำสมุนไพรในอัตราส่วน 1:1 และ 1:3 โดยที่ยังมีจำนวน *L. casei* 431 มากกว่า 7 log CFU/mL ทั้งนี้น้ำมะพร้าวหลังหมักมีปริมาณกรดทั้งหมด ประมาณ 0.77±0.06% (เทียบเป็นปริมาณกรดแลคติก) มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 9.55±0.37% เมื่อผสมน้ำมะพร้าวหมักกับน้ำสมุนไพรแล้ว เครื่องดื่มผสมในอัตราส่วน 1:1 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าอัตราส่วน 1:3 หลังการเก็บรักษานาน 41 วัน ในตู้เย็น จำนวน *L. casei* 431 ลดลงจากปริมาณเริ่มต้น 8.15±0.01 และ 7.98±0.42 log CFU/mL คงเหลือ 7.47±0.41 และ 7.21±0.37 log CFU/mL ตามลำดับ ทั้งนี้หากปรับสูตรน้ำมะพร้าวหมักผสมกับน้ำสมุนไพรอัตราส่วน 1:1 ให้มีรสหวานลดลง และหรือ เพิ่มความเปรี้ยวอาจจะทำให้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงจุดมุ่งหมายในการพยายามลดการใช้น้ำตาลในเครื่องดื่ม และผลกระทบด้านลบต่อจำนวนโพรไบโอติกมีชีวิตด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนจากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องน้ำหมักพืช มผช. 481/2547.

สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. น้ำตาลในเครื่องดื่ม. สืบค้นเมื่อ 12 พ.ค. 2562, จาก เว็บไซต์:http://food.fda.moph.go.th/data/document/2558/CS_sugar.pdf

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA) Methods Book 2005: Methods GS1/3/7-3. (2005). The Determination of Reducing Sugars in Cane Raw Sugar, Cane Processing Products and Specialty Sugars by the Lane and Eynon Constant Volume Procedure. - Accepted

Kantachote, D., Ratanaburee, A., Hayisama-ae, W., Sukhoom, A. and Nunkaew, T. (2017). The use of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* DW12 for producing a novel functional beverage from mature coconut water. *Journal of Functional Foods*. 32 :401–408.

Mensink, M.A., Frijlink, H.W., Maarschalka, K.V. and Hinrichs, W.L.J. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*. 130: 405-419.

Prades, A., Dornier, M., Diop, N. And Pain, J. (2012). Coconut water uses, composition and properties: a review. *Fruit*. 62(2): 87-107.

Pradoa, F.C., Lindnerb, J., Inabac, J., Thomaz-Soccola, V., Brard, S.K. and Soccol, C.R. (2015). Development and evaluation of a fermented coconut water beverage with potential health benefits. *Journal of functional foods*.12: 489–497.

U.S. Food and Drug Administration. (2018). FDA's Bacteriological Analytical Manual. สืบค้นเมื่อ 12 พ.ค. 2562, จากเว็บไซต์: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam

Yong, J.W.H., Ge, L., Fei Ng, Y. and Tan, S.N. (2009). The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. *Molecules.* 14, 5144-5164.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง

อภิญญา เอกพงษ์[1*] วิริยา อ่อนสอาด[1] เอกสิทธ์ อ่อนสอาด[1] วสุมนัส ศรีวิเศษ[1] และกาญจนา ทองทั่ว[2]
[1]สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]สถาบันวิจัยเพื่อพัฒนาชุมชนท้องถิ่นจังหวัดอุบลราชธานี อุบลราชธานี
[*]E-mail: apinya.e@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยการนำข้าวเปลือกที่เพิ่งผ่านระยะน้ำนม พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 นึ่งเป็นเวลา 60 นาที และทำแห้งด้วยการคั่วจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 14% จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกออก การทดลองนี้ศึกษาการทำแห้งโดยการคั่วข้าวที่อุณหภูมิ 70-80°C เวลา 50-80 นาที จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านกายภาพ เคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองพบว่า สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมในการคั่วข้าวเปลือกของการทดลองนี้ คือ การใช้อุณหภูมิต่ำที่ 70°C และใช้เวลานาน 80 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งและกะเทาะเปลือกออกแล้ว มีความชื้น 10.4% ปริมาณน้ำอิสระ (aw) 0.59 โปรตีน 7.4% ไขมัน 2.2% คาร์โบไฮเดรต 77.7% ใยอาหาร 4.2 g/100g มีวิตามิน บี1 0.26 mg/100g วิตามิน บี2 0.11 mg/100g ไนอะซีน 9.29 mg/100g วิตามิน อี 0.51 mg/100g แคลเซียม 16 mg/100g เหล็ก 0.86 mg/100g แมกนีเซียม 181 mg/100g ฟอสฟอรัส 296 mg/100g และโปแตสเซียม 379 mg/100g ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี มีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบอาหารเพื่อเพิ่มมูลค่า

คำสำคัญ: ข้าวหอมมะลิ การคั่ว การพัฒนาผลิตภัณฑ์

Development of Dried Immature Rice Made from Hom Mali Rice

Apinya Ekpong[1*],Wiriya Onsa-ard[1], Ekasit Onsa-ard[1] and Kanchana Thongtua [2]
[1]Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University
[2] Ubon Ratchathani Research Institute for Local Community Development, Ubon Ratchthani
E-mail: apinya.e@ubu.ac.th

Abstract

The objective of this research was evaluated the quality of dried immature rice as a new product made from immature Hom Mali rice. Initially, immature Hom Mali rice (KDML 105) paddy was steamed for 60 minutes, and then was roasted until the final moisture content was below 14%. Finally, the roasted grains were dehusked. The roasting conditions included varying roasting temperatures of 70-80°C and roasting times of 50-80 minutes. Physical, chemical and sensory analyses were evaluated. The optimum preferential treatment in this research was found to be roasting at low temperature (70°C) and long time (80 min). This condition provided moisture content of 10.4%, a_w 0.59, protein 7.4%, fat 2.2%, carbohydrate 77.7% and fiber content 4.2 g/100g. The nutrient content included vitamin B1 0.26 mg/100g, vitamin B2 0.11 mg/100g, niacin 9.29 mg/100g, vitamin E 0.51 mg/100g, calcium 16 mg/100g, iron 0.86 mg/100g, magnesium 181 mg/100g, phosphorus 296 mg/100g and potassium 379 mg/100g. In conclusion, the dried immature rice product has a good nutritional profile supporting potential uses as a value-added food ingredient.

Keywords : Hom Mali rice, Roasting, Product development

บทนำ

ตามนโยบาย “Thailand 4.0” ที่ส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมรวมถึงวิสาหกิจชุมชน ให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการนำนวัตกรรมมาใช้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค โดยเฉพาะวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารยังจำเป็นต้องได้รับการแนะนำและสนับสนุน เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าที่มีเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านหรือผลิตภัณฑ์ของท้องถิ่น ในขณะเดียวกันก็ยังจำเป็นต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายเพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค จังหวัดอุบลราชธานีเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญ จากรายงานของกรมการข้าว ปี 2559/2660 มีพื้นที่ปลูกข้าว 3,917,520 ไร่ นอกจากนี้ทางจังหวัดฯยังมีนโยบายส่งเสริมการผลิตข้าวอินทรีย์อีกด้วย ซึ่งจากรายงานของกรมการข้าว มีผลผลิตข้าวอินทรีย์ 81 ตัน ซึ่งผลิตภัณฑ์จากข้าวส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวในระยะที่สุกแก่ทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร อย่างไรก็ตามยังมีผลิตภัณฑ์จากข้าวในระยะที่เพิ่งผ่านระยะน้ำนมที่เรียกว่า “ระยะเม่า” นำมาแปรรูปเป็นข้าวเม่า ซึ่งข้าวในระยะอ่อน มีสีเขียวและมีกลิ่นหอมเฉพาะที่มีเอกลักษณ์ รวมถึงมีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นแหล่งของวิตามินอี และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ข้าวเม่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในทุกจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คิดเป็นมูลค่าของผลิตภัณฑ์ไม่น้อยกว่า ล้านบาทต่อปี (ภูมิภักดิ์ และคณะ 40,2543 ; อภิญญา เอกพงษ์ และคณะ, 2555 (มีการศึกษากระบวนการผลิตข้าวเม่าผง จากข้าวเหนียวพันธุ์พื้นบ้าน พันธุ์อีเตี้ย โดยวิริยา และคณะ (2559) จึงได้นำกระบวนการผลิตข้าวเม่าผง มาประยุกต์และศึกษาวิจัยเพิ่มเติมโดยใช้ข้าวเจ้า โดยศึกษากระบวนการทำแห้งข้าวภายหลังการนึ่งที่เมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนซ์แล้ว ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของข้าวภายหลังการกะเทาะเปลือก (Behera & Sutar, 2018) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้สภาวะการทำแห้งโดยการคั่วข้าวที่แตกต่างกัน และการวิจัยนี้เป็นการทำการวิจัยโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ที่วิสาหกิจชุมชนข้าวกล้องงอกร่องมาลี ตำบลสระสมิง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าข้าวของเกษตรกร และสามารถส่งเสริมเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จากข้าวของจังหวัดอุบลราชธานีได้

วิธีการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

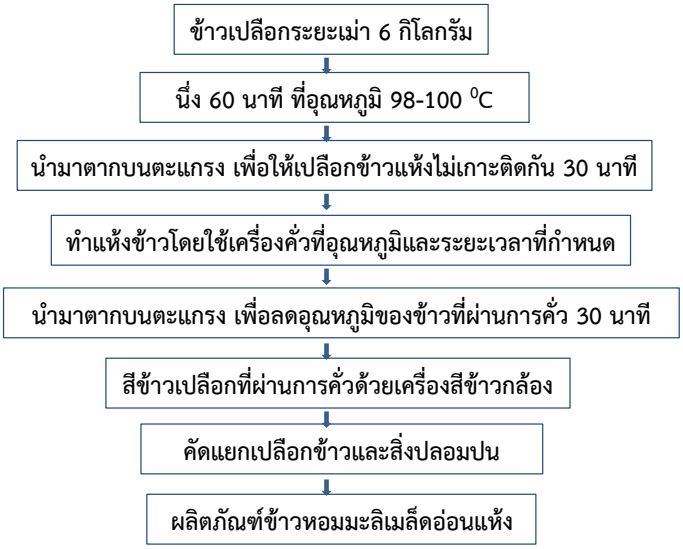
1. การเตรียมวัตถุดิบ

ใช้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเก็บเกี่ยวในระยะแป้งหรือระยะข้าวเม่า)Dough stage) เป็นระยะที่น้ำนมค่อยๆ เปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน)soft dough) และกลายเป็นแป้งแข็ง)Hard dough) ระยะนี้อยู่ระหว่าง 13-19 วัน หลังผสมเกสร ปลูกในระบบอินทรีย์ที่บ้านสระสมิง ต.สระสมิง อ.วารินชำราบ จอุบลราชธานี . ในฤดูนาปี 2561 โดยข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้จะเก็บในถุงฟิล์มลามิเนตและนำไปเก็บรักษาโดยการนำไปแช่แข็งที่ 18-องศาเซียสเซียส เพื่อนำมาใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง

การศึกษากระบวนการผลิต ดัดแปลงจากการผลิตข้าวเม่าผงตามวิธีของ วิริยา และคณะ 255)9 (มีกระบวนการผลิตดังภาพที่ 1 โดยนำข้าวเปลือกในระยะเม่านึ่งเป็นเวลา 60 นาที และทำแห้งด้วยการคั่วด้วยเครื่องคั่วแบบโรตารี่ ศึกษาสภาวะในการทำแห้งข้าวเปลือกโดยการคั่วที่ 70องศาเซลเซียส และ องศาเซลเซียส และเวลาในการทำแห้งที่ 50-80 80 นาที จนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 14% จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกออก จะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิอ่อนแห้ง ทำการทดลอง 4ทรีทเมนต์ ประกอบด้วย

1) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 70 นาที (ทรีทเมนต์ RD1057070)
2) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 80 นาที (ทรีทเมนต์ RD1057080)
3) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที (ทรีทเมนต์ RD1058050)
4) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที (ทรีทเมนต์ RD1058060)



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง

3. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและทางเคมี ประกอบด้วย

- วัดขนาด ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว (% Whole rice and Head rice) ด้วยเครื่องวัดขนาดและความผิดปกติของธัญพืช (Digital Image Analysis System for Grain, SeedCount SC5000, Israel)
- ค่าสี L* a* b* C* h* ด้วยเครื่องวัดสี)HunterLab, ColorFlex, USA)
- ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ วัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Lloyd, TA500, UK) ดัดแปลงจากวิธีของ Bourne (2002)
- ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab, 4TE, USA)
- ความชื้น (AOAC, 2000) โดยใช้ตู้อบแห้ง (Binder, FP 240, Germany)

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

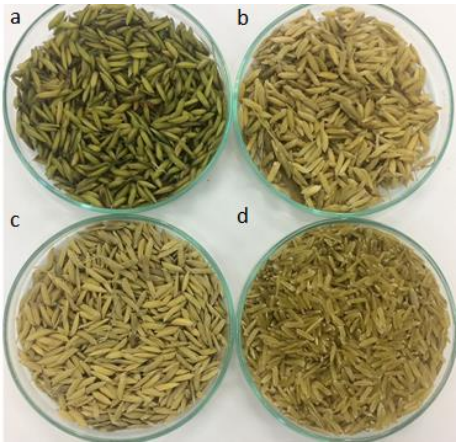
- ทดสอบความชอบ ด้วยวิธี 9-point hedonic scale (เพ็ญขวัญ, 2556) โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 69 คน

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์(RCBD) โดยบลอคการทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษา จากภาพที่ 2 แสดงลักษณะของข้าวที่ผ่านแต่ละขั้นตอนการผลิต ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้งที่ผ่านการสีแล้วทั้ง 4 ทรีทเมนต์ มีความยาวของเมล็ดเฉลี่ย 7.88±0.10 มิลลิเมตร และความหนาของเมล็ดเฉลี่ย 2.06±0.04 มิลลิเมตร ส่วนร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวเฉลี่ยที่ ร้อยละ 89.13±1.93 ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการวัดขนาดและร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว มีความสำคัญเนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้สามารถนำไปบริโภคได้โดยการหุง เช่นเดียวกับการหุงข้าวสาร ขนาดและร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว จึงเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่ใช้ในการแบ่งชั้นคุณภาพของข้าว และยังมีที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 2 ลักษณะของข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านแต่ละขั้นตอนการผลิตข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง

a. ข้าวเปลือกระยะเม่า
b. ข้าวเปลือกระยะเม่าหลังการนึ่ง
c. ข้าวเปลือกระยะเม่าหลังการทำแห้งโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
d. ข้าวที่ผ่านการสี

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยขนาดและความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งและกะเทาะเปลือก (±SD)

ทรีทเมนต์	ความยาวของเมล็ด (mm)	ความหนาของเมล็ด (mm)	ข้าวเต็มเมล็ด (ร้อยละ)	ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว (ร้อยละ)
RD1057070	7.94±0.35a	2.08±0.32a	74.20±1.99a	89.71±0.61a
RD1057080	7.88±0.10a	2.04±0.30b	72.02±3.50ab	88.41±1.80a
RD1058050	7.88±0.12a	2.09±0.17a	73.83±4.03a	89.72±3.12a
RD1058060	7.83±0.10a	2.04±0.04b	70.42±2.15b	88.66±1.13a
เฉลี่ย	**7.88±0.10**	**2.06±0.04**	**72.62±3.29**	**89.13±1.93**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 2 ค่าความชื้นแต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ พบว่า ทรีทเมนต์ RD1058050 ซึ่งทำแห้งที่ องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที 80 มีค่าปริมาณน้ำอิสระสูง สอดคล้องกับความชื้นที่มีค่าสูงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง (±SD)

ทรีทเมนต์	ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ
RD1057070	10.76±0.14a	0.63±0.01ab
RD1057080	10.39±0.50a	0.59±0.05b
RD1058050	12.05±1.27a	0.67±0.01a
RD1058060	11.70±0.76a	0.62±0.02b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) $p<0.05$)

นอกจากการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดข้าวแห้งแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพข้าวหุงสุก โดยใช้ข้าว 500 กรัม อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่ 1: 2 (W/W) หุงโดยใช้หม้อหุงข้าว ใช้เวลาในการหุง 20 นาที ทิ้งไว้ 10 นาที จึงนำมาวิเคราะห์ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้งหุงสุก ผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า ทุกทรีทเมนต์มีค่าสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) ยกเว้นค่าความสว่าง (L*) ของทรีทเมนต์ที่ใช้การทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 80 นาที (RD1057080) มีค่าต่ำที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าว พบว่า มีค่าความแข็ง (hardness) และค่าความยืดหยุ่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4) ส่วนค่าการรวมตัวกันภายในของอาหาร (cohesiveness) ข้าวที่ผ่านการทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 70 นาที (RD1057070) มีค่าสูงแตกต่างจากทรีทเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ที่พบว่า ทรีทเมนต์ที่ใช้การทำแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 80 นาที (RD1057080) มีค่าคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง (ค่าคะแนน 7) ในทุกคุณลักษณะ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ค่าสีของข้าวหุงสุก 105 (±SD)

ทรีทเมนต์	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง-สีเขียว (a*)	ค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*)	ค่าความเข้มของสี (C*)	ค่ามุมของสี (h*)
RD1057070	56.76±.0.28ab	0.35±.0.39a	21.83±0.78a	21.84±0.79a	88.99±1.08a
RD1057080	54.50±1.20c	0.53±.0.19a	24.15±0.26a	24.15±0.27a	88.73±0.46a
RD1058050	57.62±1.13a	-0.13±.0.60a	22.99±1.22a	22.99±1.21a	90.40±1.52a
RD1058060	55.72±0.92bc	0.03±.0.19a	22.55±0.45a	22.56±0.46a	89.92±0.47a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) $p<0.05$)

ตารางที่ 4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (±SD)

ทรีทเมนต์	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness (mm)	Adhesiveness (kgf.mm)
RD1057070	9.68±2.51a	0.144±.0.017a	4.18±1.65a	0.047±0.034a
RD1057080	9.36±2.21a	0.135±0.016b	3.88±1.60a	0.037±0.027ab
RD1058050	9.55±3.79a	0.137±0.017b	4.48±2.26a	0.039±0.040a
RD1058060	10.31±2.91a	0.136±0.018b	4.50±2.27a	0.025±0.030b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) $p<0.05$)

ตารางที่ 5 ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของข้าวหุงสุก (±SD)

ทรีทเมนต์	ความชอบลักษณะปรากฏ	ความชอบกลิ่น	ความชอบรสชาติ	ความชอบเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
RD1057070	6.99±1.30b	6.81±1.48a	7.03±1.38ab	7.26±1.23a	7.35±1.25ab
RD1057080	7.38±1.40a	7.13±1.58a	7.43±1.46a	7.51±1.22a	7.68±1.23a
RD1058050	6.96±1.29b	6.72±1.57a	6.73±1.45b	7.26±1.49a	7.26±1.45b
RD1058060	6.88±1.68b	6.76±1.85a	7.04±1.57ab	7.25±1.51a	7.26±1.44b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) $p<0.05$)

ได้ส่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง ทรีทเมนต์ RD1057080 ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และนำมาเปรียบเทียบข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง กับข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า ผลิตภัณฑ์ ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง มีใยอาหาร วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 ในอะซีน แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส สูงกว่า ข้าวกล้องงอก ข้าวกล้อง และข้าวขาว

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์จากข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105

สารอาหาร	ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการของข้าว พันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105			
	ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง (RD1057080)	ข้าวกล้องงอก[1]	ข้าวกล้อง[1]	ข้าวขาว[1]
โปรตีน (ร้อยละ)	7.37	N/A	N/A	N/A
ไขมัน (ร้อยละ)	2.18	N/A	N/A	N/A
คาร์โบไฮเดรท (ร้อยละ)	77.72	N/A	N/A	N/A
ใยอาหาร (มิลลิกรัม(	4200	3520	1800	400
วิตามินบี) 1มิลลิกรัม(	0.26	0.08	0.096	.0163
วิตามินบี) 2มิลลิกรัม(	0.11	0.01	.0025	0.013
ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	9.29	2.49	1.528	1.476
กรดโฟลิก (ไมโครกรัม)	50.63	N/A	N/A	N/A
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	0.51	N/A	N/A	N/A
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	16	3.39	10	10
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.86	0.46	0.42	0.42
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	379	N/A	N/A	N/A
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	181	48.9	43	12
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	296	131.13	83	43

หมายเหตุ: [1]มัณฑนา นครเรียบ (2555)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เมล็ดข้าวข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้ง ที่ผ่านการสีแล้ว มีความยาวของเมล็ดเฉลี่ย 7.88 มิลลิเมตร ความกว้างและความหนาของเมล็ดเฉลี่ย 2.49 มิลลิเมตร และ 2.06 มิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีความยาวของเมล็ดเฉลี่ย 7.5 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.1 มิลลิเมตร และความหนาของเมล็ด 1.8 มิลลิเมตร (องค์ความรู้เรื่องข้าว, มปป) เห็นได้ว่าเมล็ดข้าวข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้งมีขนาดใหญ่กว่า อาจเนื่องจากสภาวะที่เหมาะสมของการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของจังหวัดอุบลราชธานี ที่ได้รับ GI (Geographical indication) เป็นเครื่องหมายที่ให้การรับรองว่ามีความพิเศษเป็นเอกลักษณ์ โดยอาศัยความได้เปรียบจากแหล่งผลิตในท้องถิ่นนั้น (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2560) จากผลการทดลองพบว่า เมล็ดข้าวหอมมะลิที่ใช้สภาวะการทำแห้งทุก ทรีทเมนต์ มีความยาวของเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาของเมล็ดข้าวที่ใช้อุณหภูมิในการคั่วเดียวกันแต่ใช้เวลาในการคั่วต่างกัน พบว่าความหนาของเมล็ดข้าวลดลงเมื่อระยะเวลาในการคั่วเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากเมล็ดข้าวเกิดการหดตัวมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานขึ้น (Behera & Sutar, 2018) นอกจากนี้การใช้เวลาในการคั่วเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง เมล็ดข้าวจะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย เพราะความแตกต่างของปริมาณความชื้นระหว่างผิวกับใจกลางของเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงเกินไป ทำให้เกิดความเค้น (stress) ภายในเมล็ดนำไปสู่การเกิดรอยแตกร้าวและหัก (Elbert et al., 2001) เมื่อเปรียบเทียบร้อยละข้าวเต็มเมล็ดของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้งกับระดับชั้นคุณภาพข้าวกล้องหอมมะลิไทย พบว่า ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชั้นคุณภาพเดียวกับข้าวกล้องหอมมะลิ 10% คือ มีร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 70 (มกษ 4000, 2560)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งทั้ง 4 สภาวะ ทรีทเมนต์ RD1058050 มีค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระสูง เนื่องจากเป็นทรีทเมนต์ที่ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดทำให้น้ำยังคงเหลืออยู่เมล็ดข้าวมากกว่าทรีทเมนต์อื่น ส่วนทรีทเมนต์ RD1057080 ที่ใช้อุณหภูมิในการคั่วข้าวที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 80 นาที มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำ 0.59 ซึ่งปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเน่าเสียของอาหารจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่อมีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 จุลินทรีย์ประเภทราจะหยุดการเจริญเมื่อค่าปริมาณน้ำอิสระ 0. 7)นิธิยา, (2549 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาหุงสุก พบว่า ทุกทรีทเมนต์มีค่าสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นค่าความสว่าง (L*) ของทรีทเมนต์ที่ใช้การทำแห้งที่ องศาเซลเซียส เวลา 80 นาที 70 (RD1057080) มีค่าต่ำที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของสมคิด (2549) ที่พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ค่าความขาวของข้าวมีแนวโน้มลดลง ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่า ค่าความแข็งของข้าวสุกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากความชื้นข้าวหลังการอบแห้งถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความแข็งของข้าวและมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่มีความชันเป็นลบ (Rabiul et al., 2002) ซึ่งค่าความชื้นของข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนทุกทรีทเมนต์ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ผลการทดสอบความชอบทรีทเมนต์ RD1057080 มีค่าคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง (ค่าคะแนน 7) ในทุกคุณลักษณะ ซึ่งการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ควรมีค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบไม่ต่ำกว่า 6.5 จึงเลือกสภาวะการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิในการคั่วข้าวที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 80 นาที เป็นสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิเมล็ดอ่อนแห้งมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lai and Lin (2011) และ Shao *et al*. (2014) ที่ศึกษาพบว่าเมล็ดข้าวอ่อน (immature rice grain) มีศักยภาพที่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้ในอาหารหรือส่วนประกอบอาหาร เป็นโภชนเภสัช (nutraceutical foods) ที่มีสรรพคุณซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ประโยชน์ทางยา และป้องกันโรค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2560). การขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ข้าวหอมมะลิอุบลราชธานี ทะเบียนเลขที่ สช 60100099. กระทรวงพาณิชย์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา (2556). การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค. พิมพ์ครั้งที่ 2กรุงเทพฯ: วิสต้า อินเตอร์ปรินท์.

ภูมิภักดิ์ พิทักษ์เขื่อนขันธ์ และคณะโครงการศึกษาสถานภาพการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวในชนบทของภาค .(2543) . .ตะวันออกเฉียงเหนือรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติสำนักงาน . .วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

มัณฑนา นครเรียบ. (2555) ประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอก .วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี,9 (1), 69-78.

มาตรฐานสินค้าเกษตร. (2560). ข้าวหอมมะลิไทย (มกษ. 4000-2560). สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิริยา พรมกอง, เอกสิทธ์ อ่อนสอาด, อภิญญา เอกพงษ์, จิตรา สิงห์ทอง, ละมุล วิเศษ, ณัฐพล ภูมิสะอาด, รัชฎาพร อุ่นวิไล, จิราวรรณ อุ่นเมตตาอารี และวิภาวดี สาธรราษฎร์. (2559) การพัฒนากระบวนการผลิตและการประยุกต์ใช้ข้าวเม่าเพื่อประโยชน์เชิงสุขภาพปีที่ 2. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน).

สมคิด โฆษิตพันธวงศ์. (2549). อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิของการแช่ที่มีผลต่อการผลิตข้าวนึ่งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันที่ใช้ไอนาร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

องค์ความรู้เรื่องข้าว. มปป. ข้าวขาวดอกมะลิ 105. กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อภิญญา เอกพงษ์, ทิพย์วรรณา งามศักดิ์ และ Ray Winger. (2555). การใช้เทคนิคควอลิตี้ฟังก์ชั่นดีพลอยเม้นต์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านที่มีศักยภาพของจังหวัดอุบลราชธานี .รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ . สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

Behera, G. & Sutar, P.P. (2018). A comprehensive review of mathematical modeling of paddy parboiling and drying: Effects of modern techniques on process kinetics and rice quality. ***Trends in Food Science & Technology***, 75, 205-230.

Elbert, G., P. Marcela & Suarez, C. (2001). Effect of drying condition on head rice yield and browning index of parboiled rice. ***Journal of Food Engineering***, 47, 37-41.

Lin, P.Y. & **Lai**, H.M. (2011). Bioactive compounds in rice during grain development. *Food Chemistry*,127, 86-93.

Rabiul, I., Naoto, S. & Toshinori, K. (2002). Effect of processing conditions on thermal properties of parboiled rice. ***Food Science and Technology Research***, 8 (2), 131–136

Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J. & Beta, T. (2014). Phenolic acids, anthocyanins, and antioxidant capacity in rice (Oryza sativaL.) grains at four stages of development after flowering. ***Food Chemistry***,143, 90–96

การศึกษารูปแบบการวางตัวและอันตรกิริยาที่สำคัญของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole ที่เป็นสารยับยั้งเอนไซม์ GyrB ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้ง

ภาพตะวัน ทองดี[1] บัณฑิต คำศรี[1] บงกชวรรณ พาคำวงค์[1] นฤดล ภูศรี[1] ชญาณิลห์ หาญวลินโรจน์[1] กัมปนาท ฉายจรัส[1]
พฤทธิ์ คำศรี[2] อรดี พันธ์กว้าง[2] กัญชิญาภัทร อริยะเชาว์กุล[3] พัชรีนารถ ทรัพย์อาภากรณ์[4] สุภา หารหนองบัว[4]
คมสันต์ สุทธิสินทอง[5] และพรพรรณ พึ่งโพธิ์[1,*]
[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
[3]ภาควิชาชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[4]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[5]สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
[*]E-mail: pornpan_ubu@yahoo.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาระเบียบวิธีทางด้านการออกแบบโมเลกุลด้วยการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้งมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาความต้องการทางโครงสร้างสารยับยั้งชนิดใหม่ที่มีศักยภาพสูงในการยับยั้งวัณโรค เอนไซม์เป้าหมายในการศึกษาคือเอนไซม์ดีเอ็นเอไจเรส หน่วยย่อย บี (GyrB) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ตัดและคลายเกลียวของสายดีเอ็นเอของเชื้อไมโคแบคทีเรียม ทูเบอร์คูโลซิสซึ่งเป็นสาเหตุของวัณโรคและพบว่าเอนไซม์ GyrB มีการดื้อยาที่รุนแรงในกลุ่มยาฟลูออโรควิโนโลนจากการกลายพันธุ์ของเอนไซม์ GyrB จึงนำเอาการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้งมาประยุกต์ใช้ในการทำนายรูปแบบการจับและอันตรกิริยาที่สำคัญเอนไซม์ GyrB ได้แก่ อันตรกิริยาแบบไฮโดรเจน ไพ-แคไอออนและไพ-แอนไอออนระหว่างกรดอะมิโน Asp58, Arg61, Val102 และ Arg120 ของโพรงการจับเอนไซม์ GyrB กับสารอนุพันธ์ nitro-thiazole ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้งทำให้ทราบถึงรูปแบบการวางตัวในโพรงการจับของตัวยับยั้ง ซึ่งเป็นแนวทางในการออกแบบตัวยับยั้งเอนไซม์ GyrB มีศักยภาพสูงขึ้นและคาดว่าสามารถแก้ไขปัญหาในการดื้อยาของเชื้อไมโคแบคทีเรียม ทูเบอร์คูโลซิส

คำสำคัญ: สารอนุพันธ์ nitro-thiazole เอนไซม์ดีเอ็นเอไจเรส หน่วยย่อย บี ระเบียบวิธีการคำนวณโมเลคูลาร์ด็อกกิ้ง

Binding Mode and Crucial Interactions Studies of Nitro-Thiazole Derivatives as GyrB Inhibitors : Molecular Docking Calculations

Paptawan Thongdee[1], Bandit Khamsri[1], Bongkochawan Pakamwong[1], Naruedon Phusi[1],
Chayanin Hanwarinroj[1] Kampanart Chayajarus[1] Pharit Kamsri[2] Auradee Punkvang[2]
Kanchiyaphat Ariyachaokun[3], Patchreenart Saparpakorn[4], Supa Hannongbua[4], Khomson Suttisintong[5], Pornpan Pungpo[1,*]
[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[2]Division of Chemistry, Faculty of Science, Nakhon Phanom University
[3]Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[4]Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University
[5]National Nanotechnology Center, NSTDA
*E-mail: pornpan_ubu@yahoo.com

Abstract

In this research, computer aided molecular design (CAMD) approaches were applied to investigate the structural requirements of novel inhibitors as highly potent anti-tuberculosis. An enzyme target is DNA gyrase subunit B (GyrB). Function of this enzyme causes supercoiling of DNA which relieves strain during the DNA unwinding for *M. tuberculosis*. Fluoroquinolone resistance arises from the mutations of GyrB enzyme. Molecular docking calculations were applied to predict a binding mode and binding interactions between nitro-thiazole derivatives and Glu37, Ile65, Pro66, Ala94, Tyr95 residues. Therefore, important information from this study were applied to understand the binding mode of the inhibitors in a binding pocket, the crucial interactions of inhibitors

such as in the binding pocket of the nitro-thiazole derivatives as as GyrB inhibitors provided guidelines for the design of new and more potent GyrB inhibitors, and solved drug resistant problem of *M. tuberculosis*.

Keywords: nitro-thiazole derivatives, GyrB, molecular docking calculations

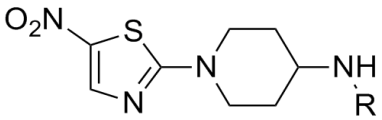
บทนำ

ปัจจุบันวัณโรคเป็นโรคติดต่อที่เป็นสาเหตุหลักการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก เนื่องจากปัญหาการดื้อยาทำให้ผู้ป่วยวัณโรคไม่ตอบสนองต่อตัวยาหลักที่ใช้รักษาในปัจจุบัน อีกทั้งยังมีการแพร่ระบาดของโรควัณโรคในกลุ่มผู้ป่วยเอดส์อย่างรวดเร็วและในการรักษาในกลุ่มผู้ป่วยกลุ่มนี้มีความยุ่งยากมากกว่า (Jeankumar et al., 2015) โดยประเทศไทยถูกจัดเป็นประเทศที่มีการดื้อยาและเกิดร่วมกับผู้ป่วยเอดส์ สูงเป็น 1 ใน 14 ประเทศ (กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, ttps://www.tbthailand.org/download/สถานการณ์วัณโรคของประเทศไทย) จากปัญหาการดื้อยาของวัณโรคทำให้ตัวยาที่ใช้ในปัจจุบันไม่สามารถใช้รักษาวัณโรคได้อีกต่อไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาวิจัยเพื่อค้นหาและพัฒนายาตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งวัณโรค กลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนายาตัวใหม่คือ การค้นหาตัวยาที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่จำเป็นของเชื้อแบคทีเรีย *M. tuberculosis* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรควัณโรค โดยมีหลักการคือ ยาที่พัฒนาขึ้นมาได้ควรจะมีกลไกการออกฤทธิ์ใหม่หรือสามารถจับกับเป้าหมายใหม่หรือยาที่พัฒนาขึ้นมาสามารถจับกับเป้าหมายเก่าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยที่เป้าหมายของยาควรมีความจำเพาะกับเชื้อวัณโรคเท่านั้น เพื่อป้องการเหนี่ยวนำการเกิดการดื้อยา เช่นการเกิดวัณโรคกลุ่มที่ดื้อต่อยาฟลูออโรควิโนโลนเนื่องจากการใช้ยากลุ่มนี้ในการรักษาโรคติดเชื้อแบคทีเรียทั่วไปหรือยาตัวใหม่ที่ความจำเพาะเจาะจงสูงต่อเชื้อวัณโรคและไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเอนไซม์ DNA gyrase ของแบคทีเรีย *M. tuberculosis* เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Type II DNA topoisomerase ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งทำหน้าที่จำลองดีเอ็นเอ โดยประกอบไปด้วย DNA gyrase subunit A หรือ GyrA และ DNA gyrase subunit B หรือ GyrB โดยเอนไซม์ทั้งคู่จะอยู่ในรูปทุติยภูมิประกอบด้วย เอนไซม์ GyrA และ GyrB อย่างละ 2 ตัว (A_2B_2 protein) เอนไซม์นี้จึงเป็นเป้าหมายสำคัญในการค้นหายาต้านจุลชีพชนิดใหม่ ดังนั้นเอนไซม์ DNA gyrase จึงเป็นเอนไซม์เป้าหมายที่น่าสนใจและมีความเหมาะสมต่อการพัฒนายารักษาวัณโรคที่เกิดการดื้อยา ปัจจุบันเอนไซม์ DNA gyrase เป้าหมายใหม่และสำคัญในการพัฒนายาต้านวัณโรคกลุ่ม Fluoroquinolone เช่น moxifloxacin, gatifloxacin, trovafloxacin, garenofloxacin และ gemifloxacin ที่ใช้ในการรักษาวัณโรคที่เกิดการดื้อยาหลายขนาน (multi drug resistant TB, MDR TB) ซึ่งปัญหาเหล่านี้น่าจะเกิดจากตัวยาเกือบทุกตัวในกลุ่มของ Fluoroquinolone เนื่องจากยามีเป้าหมายในการยับยั้งที่ GyrA แต่อย่างไรก็ตามปัญหาหลักของตัวยาในกลุ่มของ Fluoroquinolone คือการกลายพันธุ์ของเอนไซม์ DNA gyrase ทั้งบริเวณการจับของ GyrA และ GyrB ถึงแม้ว่าการกลายพันธุ์ของ GyrB มีเปอร์เซ็นต์การกลายพันธุ์น้อยกว่าของ GyrA แต่ส่งผลให้มีการดื้อยารุนแรงกว่า แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเกิดอันตรกิริยาที่มีความจำเพาะของโครงสร้างเอนไซม์ GyrB ที่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ยับยั้งของยาในกลุ่ม Fluoroquinolone ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญต่อการดื้อยา จากการสืบค้นข้อมูลของงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีข้อมูลโครงสร้างผลึกของเอนไซม์ GyrB แบบโครงสร้างของเอนไซม์อิสระชนิดดั้งเดิม แต่ยังไม่มีการรายงานโครงสร้างผลึกของเอนไซม์ GyrB ชนิดกลายพันธุ์ของกรดอะมิโนที่ตำแหน่งต่างๆ รวมทั้งไม่มีการรายงานโครงสร้างผลึกของเอนไซม์ GyrB ชนิดกลายพันธุ์ที่จับกับยาในกลุ่มของ Fluoroquinolone ดังนั้นกลไกในการออกฤทธิ์ของยารวมทั้งอันตรกิริยาสำคัญระหว่างยาในกลุ่มของ Fluoroquinolone และเอนไซม์ GyrB ชนิดกลายพันธุ์ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ดังนั้นจึงนำระเบียบวิธีการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้งที่เป็นเครื่องมือต้นทุนต่ำและใช้ระยะเวลาน้อยในการศึกษาและพัฒนาตัวยารักษาโรค

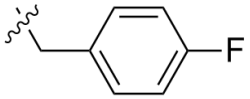
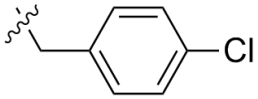
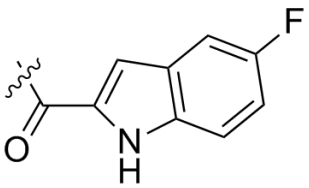
วิธีการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรม (Jeankumar et al., 2014; Jeankumar et al., 2015) รวบรวมข้อมูลทางโครงสร้างและค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole แสดงดัง**ตารางที่ 1** โดยมีโครงสร้างทั่วไปแสดงดัง**รูปที่ 1** และทำการปรับโครงสร้างให้เสถียรที่สุดด้วยระเบียบวิธีการคำนวณเคมีควอนตัม *ab initio* (M062X/6-31G*) โดยใช้โปรแกรม Gaussian 09 นำมาทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม Autodock 4.2 เพื่อศึกษารูปแบบการจับตัวกันของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole ภายในโพรงการจับของ GyrB (PDB Code: 4BAE) ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้งและวิเคราะห์สรุปผลที่ได้จากการศึกษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole ที่มีค่ากัมมันตภาพสูงขึ้นในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB

ตารางที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole และค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB

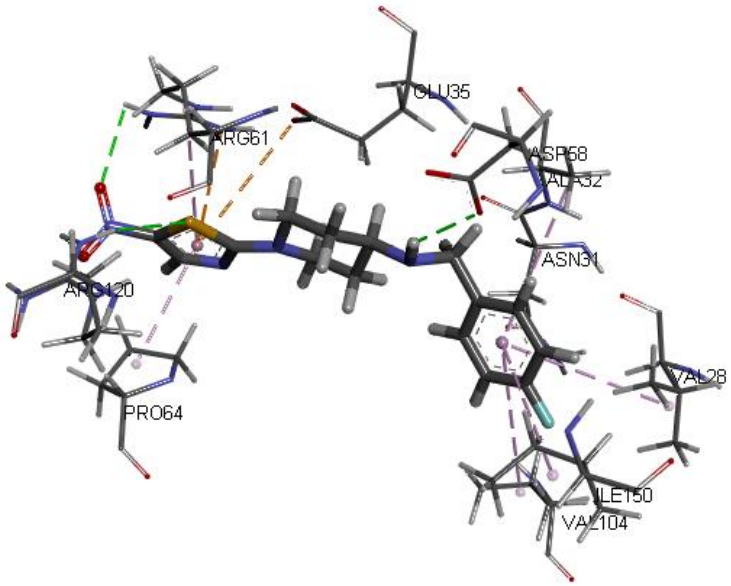


รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างทั่วไปของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole (Jeankumar et al., 2014; Jeankumar et al., 2015)

โมเลกุล	หมู่ R	IC_{50} (μM)
1		0.15
2		19.90
3		28.13

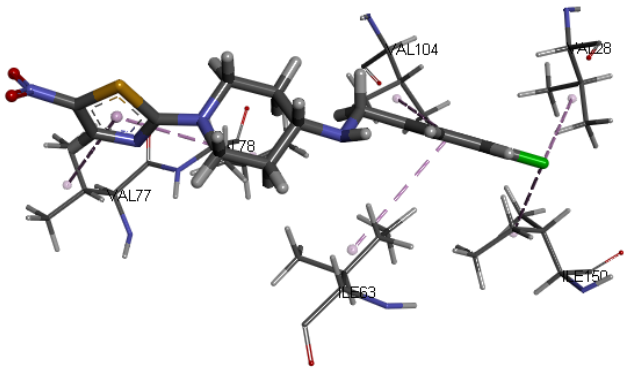
ผลการวิจัย

โมเลกุล 1 เป็นสารอนุพันธ์ nitro-thiazole ที่มีค่ากัมมันตภาพการยับยั้งเอนไซม์ GyrB สูงที่สุด ที่มีค่า IC_{50} คือ 0.15 μM ดัง**ตารางที่ 1** จากการศึกษาอันตรกิริยาและรูปแบบการจับระหว่าง**โมเลกุล 1** และโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB พบอันตรกิริยาชนิดพันธะไฮโดรเจน 4 ตำแหน่งระหว่างหมู่ไนโตรที่**โมเลกุล 1** กับเอมีนของ side chain ที่กรดอะมิโน Arg61 และ Arg120 ระหว่างอะตอมซัลเฟอร์ของ thiazole ที่**โมเลกุล 1** กับเอมีนของ side chain ที่กรดอะมิโน Arg120 และระหว่างอะตอมไฮโดรเจนของโครงสร้างทั่วไปของ**โมเลกุล 1** กับอะตอมออกซิเจนที่ side chain ของกรดอะมิโน Asp58 นอกจากนี้พบอันตรกิริยาชนิดไพ-แคทไอออนระหว่างวง thiazole ที่ **โมเลกุล 1** กับอะตอม-ไนโตรเจนของ side chain ที่กรดอะมิโน Arg61 และชนิดไพ-แอนไอออนระหว่างวง thiazole ของ**โมเลกุล 1** กับอะตอมออกซิเจนของ side chain ที่กรดอะมิโน Glu35 แสดงดังใน**รูปที่ 2**



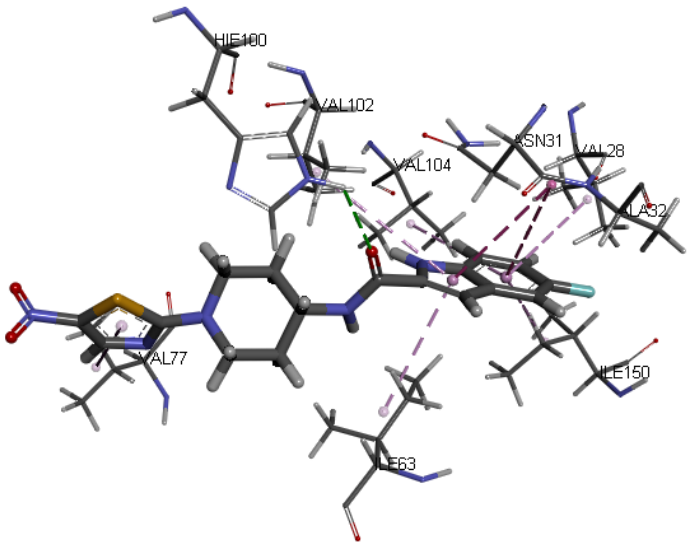
รูปที่ 2 รูปแบบการจับของสารยับยั้งสารอนุพันธ์ nitro-thiazole **โมเลกุล 1** ที่มีค่ากัมมันตภาพการยับยั้งเอนไซม์ GyrB สูง ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB ของเชื้อวัณโรคที่ได้จากการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้ง

โดย**โมเลกุล 2** เป็นโมเลกุลที่มีค่ากัมมันตภาพปานกลาง มีค่า IC_{50} คือ 19.90 µM **ดัง<u>ตารางที่ 1</u>** จากการวิเคราะห์อันตรกิริยาพบอันตรกิริยาที่สำคัญชนิดไฮโดรโฟบิกระหว่าง **โมเลกุล 2** กับกรดอะมิโน Val28 Ile63 Val77 Val78 Val104 และ Ile150 ดังแสดงใน**รูปที่ 3**



รูปที่ 3 รูปแบบการจับของสารยับยั้งสารอนุพันธ์ nitro-thiazole **โมเลกุล 2** ที่มีค่ากัมมันตภาพการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ปานกลาง ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB ของเชื้อวัณโรคที่ได้จากการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้ง

และ**โมเลกุล 3** มีค่าคือ IC_{50} 28.13 µM ซึ่งเป็นค่ากัมมันตภาพต่ำที่สุดจาก**<u>ตารางที่ 1</u>** พบว่าเกิดอันตรกิริยาชนิดพันธะ-ไฮโดรเจนระหว่างอะตอมออกซิเจนของหมู่ R ของ**โมเลกุล 3** กับอะตอมไฮโดรเจนของ side chain ของกรดอะมิโน Hie100 นอกจากนี้ยังพบอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟบิกระหว่าง **โมเลกุล 3** กับ side chain ของ กรดอะมิโน Val28 Ile63 Val77 Val102 และ Val104 แสดงดังใน**รูปที่ 4**



รูปที่ 4 รูปแบบการจับของสารยับยั้งสารอนุพันธ์ nitro-thiazole **โมเลกุล 3** ที่มีค่ากัมมันตภาพการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ที่ต่ำสุด ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB ของเชื้อวัณโรคที่ได้จากการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้ง

จากผลการการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้งทำให้ทราบรูปแบบการจับและอันตรกิริยาที่สำคัญระหว่างสารยับยั้งของอนุพันธ์ nitro-thiazole กับโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB โดยพบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงหมู่ R ของอนุพันธ์ nitro-thiazole ทำให้การวางตัว รูปแบบการจับและอันตรกิริยากับโพรงการจับของเอนไซม์แตกต่างกันออกไปกล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนจากอะตอมฟลูออรีนของหมู่แทนที่ของ**โมเลกุล 1** เป็นอะตอมคลอรีนของหมู่แทนที่ของ**โมเลกุล 2** การวางตัวของสารยับยั้งเปลี่ยนไปส่งผลต่ออันตรกิริยา

ที่เกิดขึ้นดังแสดงใน**รูปที่ 2** และ **รูปที่ 3** โดยพบว่า **โมเลกุล 2** มีอันตรกิริยาระหว่างอนุพันธ์ nitro-thiazole กับเอนไซม์ GyrB ที่น้อยกว่า **โมเลกุล 1** ซึ่งสอดคล้องกับค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB และ**โมเลกุล 3** ที่มีค่ากัมมันตภาพต่ำที่สุดพบว่ามีหมู่เอไมด์และทำให้อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลกับโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB น้อยกว่า**โมเลกุล 1**

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการออกแบบโมเลกุลด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ระเบียบวิธีการคำนวณโมเลคิวลาร์ด็อกกิ้งของสารอนุพันธ์ nitro-thiazole ทำให้เข้าใจถึงรูปแบบการวางตัวและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นของโครงสร้างที่มีผลต่อค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งของสารยับยั้งเอนไซม์ GyrB ซึ่งพบอันตรกิริยาชนิดไฮโดรเจน ไพ-แคทไอออน ไพ-แอนไอออน และไฮโดรโฟบิก ระหว่างสารอนุพันธ์ nitro-thiazole กับกรดอะมิโน Val28 Glu35 Asp58 Arg61 Ile63 Val77 Val78 Hie100 Val102 Val104 Arg120 และ Ile150 ดังนั้นผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการออกแบบสารยับยั้งเอนไซม์ GyrB ตัวใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อใช้เป็นสารต้านเชื้อไมโครแบคทีเรียม ทูเบอร์คูโลซิส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำหรับการสนับสนุนโปรแกรมและเครื่องมือในการคำนวณ สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข สวรส. (HSRI.60.083) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC), โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) แก่นางสาวภาพตะวัน ทองดี (SCA-CO-2561-6946TH) สำหรับเงินทุนสนับสนุนตลอดการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2560). *สถานการณ์วัณโรคของประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม, 2562 จาก: https://www.tbthailand.org/download/สถานการณ์วัณโรคของประเทศไทย%2010%20พย.%2060%20final%.pdf

Jeankumar, J.; Renuka, V. U.; Kotagiri, S.; Saxena, S.; Kakan, S.; Sridevi, J. P.; Yellanki, S.; Kulkarni, P.; Yogeeswari, P.; Sriram, D.; “Gyrase ATPase Domain as an Antitubercular Drug Discovery Platform: Structure-Based Design and Lead Optimization of Nitrothiazolyl Carboxamide Analogues” *Chem Med Chem*, 2014, *00*,1-11.

Jeankumar, V. U.; Kotagiri, S.; Janupally, R.; Suryadevara, P.; Sridevi, J. P.; Medishetti, R.; Kulkarni, P.; Yogeeswari, P. & Sriram, D.; Exploring the gyrase ATPase domain for tailoring newer anti-tubercular drugs: Hit to lead optimization of a novel class of thiazole inhibitors” *Bioorg Med Chem*, 2015, 23, 588-601.

a Dissociative Mechanism that Explains how ATP hydrolysis is Coupled to Domain Motion” *Biochemistry*, 2013, 456, 263-273.

Jorgensen, W. L.; Chandrasekhar, J.; Madura, J. D.; Impey R. W. & Klein, M. L. Comparison of Simple Potential Functions for Simulating Liquid Water. *J Chem Phys*, 1983, 79(2), 926-935.

Thongdee, P.; Pakamwong, B.; Saenglam, I.; Khamsri, B.; Hanwarinroj, C., Phusi, N.; Chayajarus, K.; Kamsri, P.; Punkvang, A. Saparpakorn, P.; Hannongbua, S.; Suttisintong, K.; Kittakoop, P.; Spencer, J.; Mulholland, A. & Pungpo, P. “Molecular Docking Study of nitrothiazole Derivatives to Develop to the GyrB inhibitors” *GSRD conference*, 2018, (pp. 30-34).

การกำจัดสีย้อมเมทิลีน บลู โดยใช้จีโอพอลิเมอร์เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง

วรางคณา กิตติวงศ์วิศาล[1] พรพรรณ พึ่งโพธิ์[1] ปาจรีย์ ถาวรนิติ [2] เขมกร โกมลศิริสุข[2] สายสมร ลำลอง[1*]
[1] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)
*E-mail : g3936619@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์ (geopolymer) เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมประจุบวกเมทิลีน บลู (methylene blue) โดยเตรียมจากจากดินขาวระนอง (Ranong kaolin) แล้วพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค *X-ray diffraction* (*XRD*) และ *X-ray fluorescence* (*XRF*) ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ และ อุณหพลศาสตร์ของการดูดซับ พบว่าที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม คือ 20.00 กรัมต่อลิตร เวลาที่เหมาะสม คือ 60 นาที ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมมากกว่า 90 % ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ ไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ในการดูดซับสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (pseudo second-order) ศึกษาอุณหพลศาสตร์พบว่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) มีค่า 162.49 J/molK มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับทำให้ระบบมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น เอนทาลปี (ΔH°) มีค่าเท่ากับ 39.84 kJ/mol มีค่าบวก แสดงว่ากระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และ พลังงานอิสระกิบส์ (ΔG°) ของการดูดซับมีค่าเป็นลบ แสดงว่าการดูดซับสีย้อมประจุบวกเป็นการดูดซับเกิดขึ้นได้เอง การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าจีโอพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับที่น่าสนใจและมีราคาถูกในการกำจัดสีย้อมเมทิลีน บลูจากน้ำเสียได้

คำสำคัญ : เมทิลีน บลู จีโอพอลิเมอร์ ดินขาว

Removal Methylene Blue Dyes from Aqueous Solution Using Geopolymer as a Highly Potential Adsorbent

Warangkana Kittiwongwisan, [1] Pornpan Pungpo, [1]Pajaree Thavorniti, [2] Khemmakorn Gomonsirisuk, [2] and Saisamorn Lumlong[1*]

[1]*Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand*
[2]*Division of Chemistry, Faculty of Science, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000, Thailand*
[3]*National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, 111 Thailand Science Park, Klong Luang, Pathum Thani, Thailand 12120*
**E-mail: g3936619@hotmail.com*

Abstract

The aim of this work is to synthesize geopolymers as adsorbent for cationic dye (methylene blue) removal. Geopolymers were prepared from Ranong kaolin. Geopolymer characteristics were determined by *X-Ray diffraction* (*XRD*) และ *X-ray fluorescence* (*XRF*). The optimum parameters for adsorption including adsorbent dosage and adsorption time were investigated. Isotherm, kinetics and thermodynamic of adsorption were also studied. The results indicated that at initial dye concentration at 300 mg/L, the optimum dosage of geopolymer is 20.00 g/L and the optimum adsorption time is 60 minutes with adsorption efficiency of more than 90 %. The adsorption isotherm of cationic dyes onto geopolymer agrees well with the Langmuir isotherm and kinetic process corresponded well to pseudo-second order model. Moreover, for the thermodynamic properties of the adsorption, the positive value of ΔS° (+162.49 J/molK) revealing that adsorption process increased randomness in the system. Positive ΔH° (+39.84 KJ/mol) means endothermic reaction. Negative ΔG° indicated

spontaneous adsorption of the cationic dye. These results indicate that the synthetic geopolymer is a promising and low-cost adsorbent for removing dye from wastewater.

Keywords : METHYLENE BLUE, GEOPOLYMER, KAOLIN

บทนำ

จีโอพอลิเมอร์ (geopolymer) เป็นวัสดุใหม่ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมได้ โดยจีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีรูพรุน ประกอบด้วยอะลูมิโน-ซิลิเกต ได้จากการกระตุ้นด้วยด่าง โดยประจุบวก ได้แก่ Li^+, Na^+, K^+ และ Cs^+ (Nanavati et al., 2017) โดยจีโอพอลิเมอร์สามารถสังเคราะห์ได้จากหลากหลายแหล่ง เช่น ดินขาว, ดินตะกอนน้ำประปา และเถ้าลอย (Cheng et al., 2012 ; Davidovits et al., 1991) นอกจากนี้จีโอพอลิเมอร์ยังถูกใช้เป็นตัวดูดซับ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ มีสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ยอดเยี่ยม กระบวนการสังเคราะห์มีการใช้พลังงานต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่นำมาใช้ในการดูดซับสีย้อมจากน้ำเสีย (Sivamani et al., 2009) อุตสาหกรรมการย้อมสีเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำมากที่สุด น้ำทิ้งที่ออกมาจากอุตสาหกรรมการย้อมจะมีสารเคมีและสารผสมต่าง ๆ และน้ำทิ้งต้องได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสมก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ แต่น้ำทิ้งจากโรงย้อมสีนั้นยากต่อการบำบัด (Yagub et al., 2014) เช่น เมทิลีน บลู (methylene blue) ซึ่งเป็นสีประจุบวกโดยโครงสร้างสีย้อมเมทิลีน บลู แสดงดังรูปที่ 1 เมทิลีน บลู เป็นสีที่ใช้กันมากที่สุดในการย้อมผ้าไหม (Deng et al., 2011) แม้ว่าเมทิลีนบลูจะไม่ถือว่าเป็นสีย้อมที่เป็นพิษมาก แต่ก็สามารถทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตราย เช่น อาเจียน อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น ท้องเสีย ช็อก ดีซ่าน อัมพาตและเนื้อร้ายเนื้อเยื่อในมนุษย์ (Chen et al., 2011) ดังนั้น สีเมทิลีน บลูที่ควรได้รับการบำบัดก่อนปล่อยออกมา

รูปที่ 1 โครงสร้างของสีย้อมเมทิลีน บลู

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์จากดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลีน บลู โดยวิธี batch method โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสม เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อม รวมทั้งศึกษาไอโซเทอร์มที่เหมาะสมใช้ในการอธิบายแบบจำลองการดูดซับ, จลนศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายอัตราเร็วในการดูดซับ และอุณหพลศาสตร์สามารถใช้ประมาณค่าคงที่สมดุล การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการดูดซับ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปได้

วิธีการวิจัย

สารเคมี

sodium hydroxide (commercial grade) บริษัท อิตัลมาร์ (ปะเทศไทย) จำกัด

sodium silicate (commercial grade) บริษัท อิตัลมาร์ (ปะเทศไทย) จำกัด

การสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์

เผาดินขาวระนองที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผสม alkali solution โดยใช้อัตราส่วน NaOH : Na_2SiO_3 เท่ากับ (2:3) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นผสมกับดินขาวระนองเผาในอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1:1 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงบนแม่พิมพ์ ทำการไล่ฟองอากาศ พันด้วยฟิล์มถนอมอาหาร และบ่มเป็นเวลา 5 วันที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงบดให้เป็นผงร่อนด้วยตะแกรงขนาด 250 เมช ได้จีโอพอลิเมอร์มีลักษณะดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 จีโอพอลิเมอร์

การพิสูจน์เอกลักษณ์

ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD, Exported by X'Pert SW) ใช้ Cu Kα รัศมี (λ = 1.5406 Å) ที่ 40 kV และ 30 mA

วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF) ด้วยเครื่อง ED-XRF (HORIBA, XGT-5200)

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับ

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู แปรปริมาณตัวดูดซับที่ 10.00, 20.00, 40.00 และ 80.00 กรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาในการดูดซับ 60 นาที กรอง แล้วนำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ λ_{max} = 665 นาโนเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับ} = ([A_0]-[A_t])/[A_0]\times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ $[A_0]$ คือ ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$[A_t]$ คือ ความเข้มข้นหลังการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู แปรเวลาในการดูดซับที่ 30, 60, 120 และ 240 นาที โดยความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับ 20.00 กรัมต่อลิตร กรอง แล้วนำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ λ_{max} = 665 นาโนเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับ

ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 20.00 กรัมต่อลิตร เวลา 60 นาที แปรความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีน บลู 300, 350, 400, 450, 500 และ 550 มิลลิกรัมต่อลิตร กรอง แล้วนำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ λ_{max} = 665 นาโนเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำความเข้มข้นของสีย้อมก่อนและหลังการดูดซับ นำไปเขียนกราฟลอการิทึม (logarithm) โดยให้ความเข้มข้นของสีย้อมหลังการดูดซับเป็นแกนนอนและปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับเป็นแกนตั้ง เส้นโค้งที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ฟรอยลิช ไอโซเทอร์ม (Freundlich isotherm) จากสมการที่ (2) และ (3) (Freundlich, 1906):

$$q_e = k_F C^{1/n} \quad (2)$$

$$\log (q_e) = \log (k_F) + (1/n)\log (C_e) \quad (3)$$

เมื่อ k_F คือ ค่าคงที่ฟรอยลิช คำนวณได้จาก slope ใต้กราฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

ศึกษาไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) ซึ่งเป็นการทำนายระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) สามารถคำนวณและพล็อตกราฟได้จากสมการที่ (4) (Langmuir,1918):

$$C_e/q_e = 1/q_m b + C_e/q_m \quad (4)$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) , q_e คือ น้ำหนักตัวดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม), q_m คือ น้ำหนักตัวดูดซับที่มากที่สุด (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ b คือ ค่าคงที่แลงเมียร์ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e ค่า q_m และ b หาได้จากความชัน (slope) และจุดตัดแกน (intercept)

ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ

ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 20.00 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีน บลู 300 มิลลิกรัมต่อลิตร แปรเวลาในการดูดซับ 30, 60, 120 และ 240 นาที กรอง แล้วนำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ λ_{max} = 665 นาโนเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำความเข้มข้นของสีย้อมก่อนและหลังการดูดซับมาคำนวณว่าสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (pseudo first-order) และ ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (pseudo-second-order) สามารถคำนวณทั้งสองปฏิกิริยาได้จากสมการที่ (5) และ สมการที่ (6)

สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน ; $\log (q_e-q_t) = \log q_e - ((k_{01}/2.303)t)$ (5)

สมการปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ; $t/q_t = (1/k_{12}q_e^{\ 2}) + (1/q_e)t$ (6)

โดย k_{01} คือ ค่าคงที่จลนศาสตร์อันดับหนึ่งเสมือน, (1/วัน) k_{12} คือ ค่าคงที่จลนศาสตร์อันดับสองเสมือน, (กรัมต่อมิลลิกรัมต่อวัน) q_e คือ การดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ณ เวลาที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) q_t คือ การดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ t คือ เวลา (วัน)

ศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ

ศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 20.00 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีน บลู 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาในการดูดซับ 60 นาที แปรอุณหภูมิ 293, 303, 313 และ 333 เคลวิน กรอง แล้วนำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ λ_{max} = 665 นาโนเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง ได้ข้อมูลความเข้มข้นของสีย้อมก่อนและหลังการดูดซับ นำผลที่ได้จากการทดลองของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมที่มีผลต่อการดูดซับของจีโอโพลิเมอร์มาแทนค่าในตัวแปรของสมการ Van't Hoff คือ $\ln K_c = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R}$ นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟโดยที่แกน X คือ 1/T และแกน Y คือ ln K_c จากสมการเส้นตรงที่ได้ จุดตัดแกน Y คือ $\frac{\Delta S^\circ}{R}$ และ K_c คือค่าคงที่สมดุลซึ่งได้จากการหา $K_c = \frac{C_{ads}}{C_e}$ เมื่อ C_{ads} คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อได้ค่า K_c แล้วจากนั้นคำนวณหา ΔG° ที่มีผลต่อการดูดซับได้จากสมการ $\Delta G^\circ = -RT \ln K_c$

ผลการวิจัย

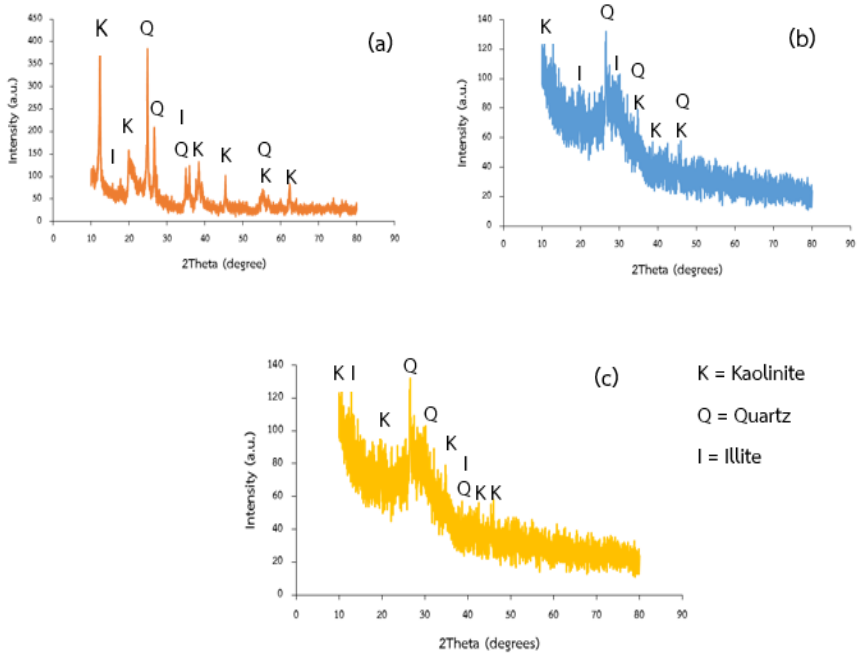
พิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับ

พิสูจน์เอกลักษณ์โดยเทคนิค XRF เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ จากดินขาวระนองเผา 600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 1 มีองค์ประกอบหลัก คือ SiO_2 และ Al_2O_3

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของธาตุในดินขาวระนองเผา

Formula	Mass (%)	Molecule (%)
Al_2O_3	35.975	25.325
SiO_2	60.993	72.855
K_2O	1.531	1.167
Fe_2O_3	1.288	0.579
ZnO	0.005	0.005
As_2O_5	0.011	0.003
Rb_2O	0.113	0.043
Y_2O_3	0.056	0.018
Ir_2O_3	0.028	0.005

เมื่อวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ของดินขาวระนอง พบพีค kaolinite ที่ 10°, 25° และ 26.5° พีคที่ 27° เป็นพีคของ quartz (SiO_2) ส่วนที่ 9° และ 12° เป็นพีคของ illite ดังรูปที่ 3(a) สำหรับดินขาวระนองหลังเผาที่ 600 °C ยังคงพบพีคของ kaolinite, quartz และ illite แต่มีความเป็นผลึกน้อยกว่าดินขาวระนองก่อนเผา ดังรูปที่ 3(b) ส่วนจีโอพอลิเมอร์พบ quartz และ kaolinite มี XRD pattern คล้ายกับดินขาวระนองหลังเผา ดังรูปที่ 3(c)

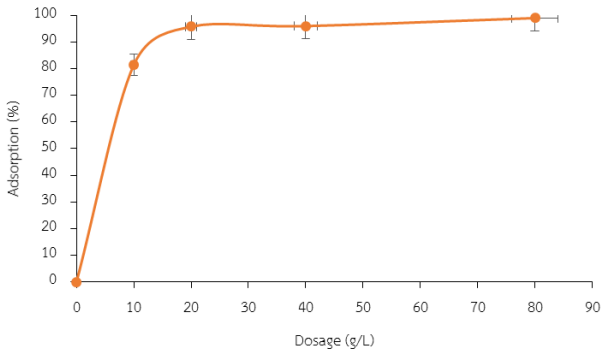


รูปที่ 3 XRD patterns ของ : (a) ดินขาวระนอง (b) ดินขาวระนองหลังเผา และ (c) จีโอพอลิเมอร์

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม

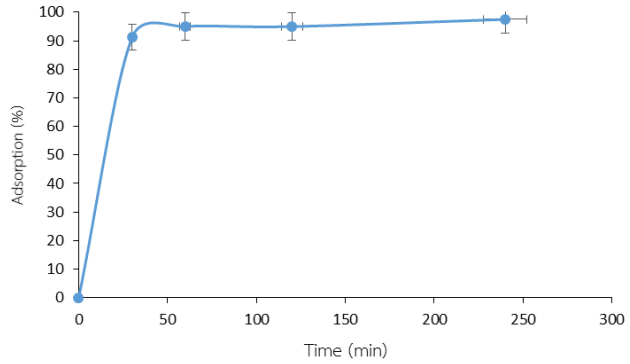
ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับที่ปริมาณตัวดูดซับตั้งแต่ 10.00- 80.00 กรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อเพิ่มตัวดูดซับจาก 10.00 เป็น 20.00 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะรูพรุนในจีโอพอลิเมอร์สามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ได้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khodaie et al., 2013 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็น 40.00 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ปริมาณจีโอพอลิเมอร์ 20.00 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับคือ 95.00±0.23% ดังนั้น จึงเลือกปริมาณที่เหมาะสมคือ 20.00 กรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวระนอง แปรปริมาณตัวดูดซับตั้งแต่ 10.00-80.00 กรัมต่อลิตร

เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

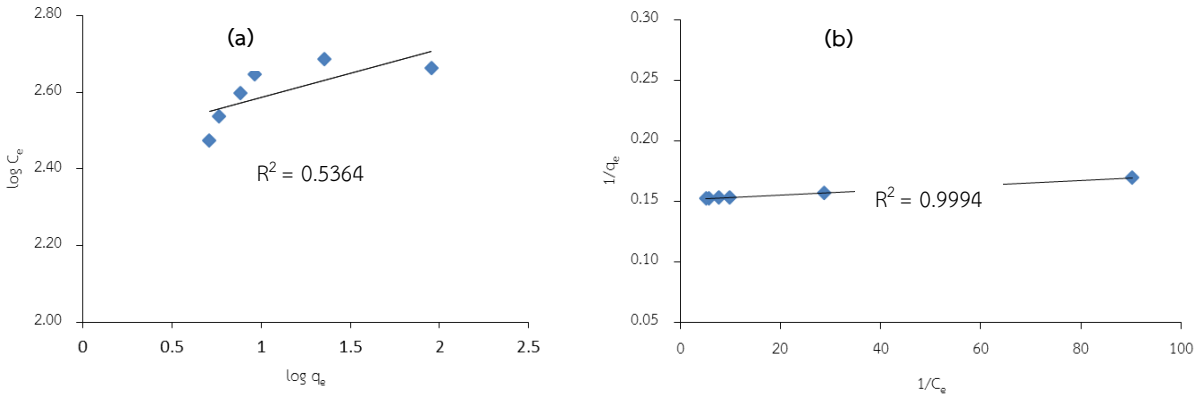
ศึกษาเวลาในการดูดซับที่ 30, 60, 120 และ 240 นาที พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่เวลา 60 นาที เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับเป็น 2 เท่า คือ 120 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล อัตราการดูดซับและคายซับเท่ากัน เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลจะไม่สามารถดูดซับโมเลกุลของสีย้อมเพิ่มได้อีก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Derakhshan et al., 2013 ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู คือ เวลา 60 นาที เนื่องจากการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุล มีประสิทธิภาพการดูดซับคือ 95.00±0.38% ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวระนอง แปรเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 30-240 นาที

ไอโซเทอร์มการดูดซับ

ศึกษาไอโซเทอร์มโดยใช้สมการระหว่างแลงเมียร์ ไอโซเทอร์ม และ ฟรอยลิช ไอโซเทอร์มแสดงในรูปที่ 6 ค่า R^2 โดยฟรอยลิช ไอโซเทอร์ม มีค่า R^2 = 0.5364 และ แลงเมียร์ ไอโซเทอร์มมีค่า R^2 = 0.9994 พบว่าค่า R^2 ของแลงเมียร์ไอโซเทอร์มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือมากกว่า ดังนั้น การดูดซับระหว่างตัวดูดซับคือจีโอพอลิเมอร์ และ สีย้อมเมทิลีน บลู จึงเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Li et al., 2013)

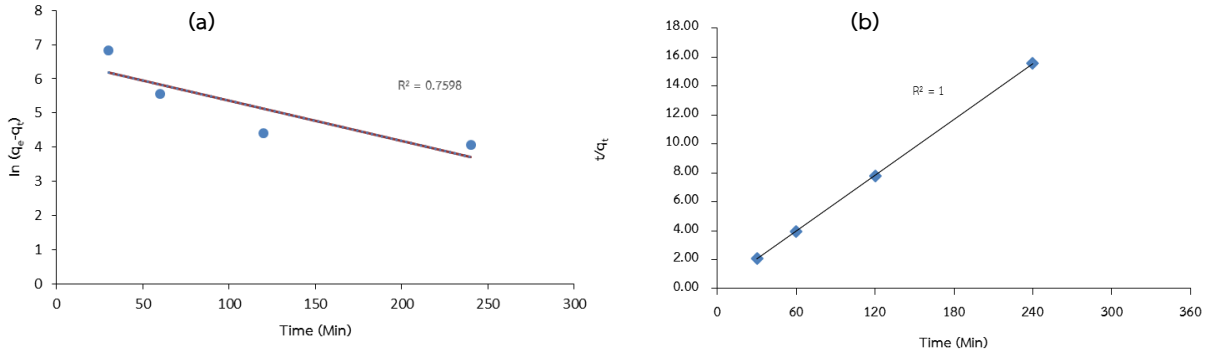


รูปที่ 6 ไอโซเทอร์มการดูดซับ : (a) ฟรอยลิช ไอโซเทอร์ม (b) แลงเมียร์ ไอโซเทอร์ม

จลนศาสตร์การดูดซับ

ผลการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับแสดงดังรูปที่ 7 พบว่า ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน มีค่า R^2 = 0.7596 และ ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน มีค่า R^2 = 1 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จลนศาสตร์การดูดซับจึงสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ซึ่งมีกลไกการดูดซับดังนี้ 1. เกิดการแพร่ของสีย้อมไปยังบริเวณของจีโอโพลิเมอร์ผ่าน subsurface 2. เกิดการแพร่ผ่าน Subsurface ของจีโอโพลิเมอร์ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า film diffusion 3. สีย้อมเกิดการแพร่ผ่านไปยังรูพรุนของจีโอโพลิเมอร์ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า pore diffusion 4. เกิดอันตรกิริยาระหว่างพื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์จากดินขาวระนองกับสีย้อมเมทิลีน บลู (Abechi et al., 2011)

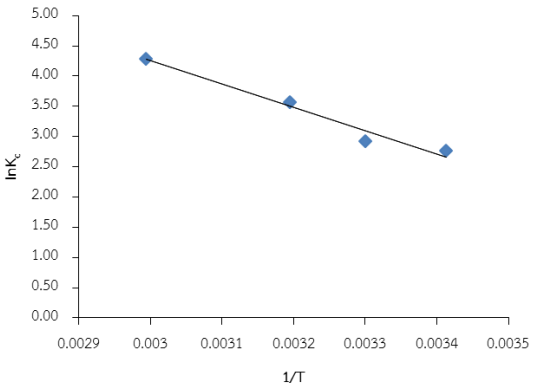
จากการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมด้วยจีโอโพลิเมอร์จากดินขาวมีผลไปในทางเดียวกัน คือ สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน โดยขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นกำหนดอัตราในการดูดซับเกิดอันตรกิริยาระหว่างพื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์กับสีย้อม แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงทางเคมี (chemisorptions)



รูปที่ 7 จลนศาสตร์การดูดซับของสีย้อมเมทิลีน บลู บนจีโอโพลิเมอร์จากดินขาวระนอง : (a) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน และ (b) ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน

อุณหพลศาสตร์การดูดซับ

เมื่อนำผลการทดลองมาพล็อตกราฟระหว่าง 1/T และ $\ln K_c$ ดังแสดงในรูปที่ 8 ได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าเท่ากับ $\Delta H°/R$ และ จุดตัดแกนตั้งเท่ากับ $\Delta S°/R$ ซึ่งจากสมการเส้นตรงเมื่อนำมาหาค่า $\Delta H°$ (Enthalpy) มีค่าเป็น 39.84 kJ/mol ค่า $\Delta H°$ เป็นบวก แสดงว่ากระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนและเมื่อนำมาหาค่า $\Delta S°$ (Entropy) มีค่าเป็น 162.49 J/mol.K ค่า $\Delta S°$ เป็นบวก แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับมีผลทำให้โมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิวตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มสูงขึ้น ส่วน $\Delta G°$ (Gibbs free energy) พบว่า $\Delta G°$ แปรผันตามอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่า $\Delta G°$ ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย อีกทั้ง $\Delta G°$ มีค่าเป็นลบ แสดงว่ากระบวนการดูดซับเกิดขึ้นได้เอง (Al-Rashed et al., 2012)



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T และ $\ln K_c$ ของการดูดซับเมทิลีน บลู โดยใช้จีโอโพลิเมอร์จากดินขาวระนอง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จีโอพอลิเมอร์สามารถสังเคราะห์จากดินขาวระนองเพื่อเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง นำมาดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลู โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสม เวลาที่เหมาะสม ไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์ พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมคือ 20 กรัมต่อลิตร เวลาที่เหมาะสม 60 นาที โดยความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมเมทิลีน บลู คือ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน มีค่า $\Delta H°$ มีค่าเป็น 39.84 kJ/mol ค่า $\Delta H°$ มีค่าเป็นบวก แสดงว่ากระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ค่า $\Delta S°$ มีค่าเป็น 162.49 J/molK ค่า $\Delta S°$ เป็นบวก แสดงว่ากระบวนการดูดซับมีผลทำให้โมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิวตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มสูงขึ้น ส่วน $\Delta G°$ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่า $\Delta G°$ ก็เพิ่มขึ้นด้วย อีกทั้ง $\Delta G°$ มีค่าเป็นลบ แสดงว่ากระบวนการดูดซับเกิดขึ้นได้เอง ซึ่ง Marouane El Alouani et al., (2018) ได้สังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยโดยนำมาดูดซับสีย้อมเมทิลีน บลูที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับอยู่ที่ 120 นาที ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัมต่อลิตร จึงเข้าสู่สมดุล โดยจลนศาสตร์สอดคล้องกับ

ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ดังนั้นดินขาวสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการรีไซเคิลจีโอพอลิเมอร์ว่าจีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมได้สามารถนำกลับใช้ในการดูดซับกี่ครั้ง รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรของรูพรุน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีสำหรับการสนับสนุนในด้านเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC) สำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัยและศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ และอำนวยความสะดวกในการทำปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

Abechi, S., Gimba, C., Uzairu, A., and Kagbu, J. A. (2011). Kinetics of adsorption of methylene blue onto activated carbon prepared from palm kernel shell. *Scholars Research Library Journal, 3,* 154-164.

Al-Rashed, S. M., and Al-Gaid, A. A. (2012). Kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behavior of Rhodamine B dye on Duolite C-20 resin. *Journal of Saudi Chemical Society,*16, 209-215.

Cheng, T. W., Lee, M. L., Ko, M. S., Ueng, T. H., and Yang, S. F. (2012). The heavy metal adsorption characteristics on metakaolin-based geopolymer. *Applied Clay Science,* 56, 90-96.

Davidovits, J. (1991). Geopolymers. *Journal of thermal analysis,* 37(8), 1633-1656.

Deng, H., Lu, J., Li, G., Zhang, G., and Wang, X. (2011). Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Journal of Hazardous Materials,* 172, 326-334.

Derakhshan, Z., Baghapour, M., Ranjbar, M., & Faramarzian, M. (2013). Adsorption of methylene blue dye from aqueous solutions by modified pumice stone: Kinetics and Equilibrium Studies. *Journal* of *Health Scope,* 2(3), 139-44.

El Alouani, M., Alehyen, S., El Achouri, M., and Taibi, M. h. (2018). Adsorption of cationic dye onto fly ash-based geopolymer: Batch and fixed bed column studies. *EDP Sciences Journal,* 149, 6. สืบค้นจากเว็บไซต์ https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/08/matecconf_cmss2018_02088.pdf (เข้าถึงเว็บไซต์เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2562)

H. M. F. Freundlich. Over the adsorption in solution. *The Journal of Physical Chemistry*, 906, 385-471.

Khodaie, M., Ghasemi, N., Moradi, B., and Rahimi, M. (2013). Removal of methylene blue from wastewater by adsorption onto $ZnCl_2$ activated corn husk carbon equilibrium studies. *Journal of Chemistry,* 6, *2013.* สืบค้นจากเว็บไซต์ https://www.hindawi.com/journals/jchem/2013/383985/ (เข้าถึงเว็บไซต์เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2562)

Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane suraces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society, 40,* 1361-1403.

Li, Y., Du, Q., Liu, T., Peng, X., Wang, J., Sun, J., Xia, L. (2013). Comparative study of methylene blue dye adsorption onto activated carbon, graphene oxide, and carbon nanotubes. *Chemical Engineering Research and Design,* 91, 361-368.

Liu, L., Gao, Z. Y., Su, X. P., Chen, X., Jiang, L., and Yao, J. M. (2015). Adsorption removal of dyes from single and binary solutions using a cellulose-based bioadsorbent. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 3*(3), 432-442.

Nanavati, S. (2017). A Review on Fly Ash based geopolymer concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering,* 14, 12-16.

Pullar, R., Novais, R., Carvalheiras, J., Seabra, M., and Labrincha, J. A. (2019). Red mud-based inorganic polymer spheres bulk-type adsorbents and pH regulators. *Journal of Hazardous Materials,*358, 69-81

Singhal, A., Gangwar, B. P., and Gayathry, J. M. (2017). CTAB modified large surface area nanoporous geopolymer with high adsorption capacity for copper ion removal. *Applied Clay Science, 150*, 106-114.

Sivamani, S., and Beslin, L. G. (2009). Removal of dyes from wastewater using adsorption : a review. *International journal of biosciences and technology*, 2, 47-51.

Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., and Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Advances in Colloid and Interface Science, 209*,172-184.

แผ่นยางปูพื้นจากยางธรรมชาติและกากกาแฟ

สายสมร ลำลอง[1*] ปัณณทัต นามโคตร[1] จักราวุธ คงอ่อน[1] พรพรรณ พึ่งโพธิ์[1] และ ทักษพร อินทร์มณี[1]
[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail : g3936619@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของกากกาแฟที่ใช้เป็นสารตัวเติมต่อสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิทเพื่อทำเป็นแผ่นยางปูพื้น ได้แก่ ยางพื้นสนามกีฬา ยางปูคอกปศุสัตว์ และ พื้นสนามเด็กเล่น เตรียมยางคอมปาวด์โดยบดผสมในเครื่องบดผสมแบบปิดและเครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง แปรปริมาณกากกาแฟตั้งแต่ 0-30 phr หลังจากนั้นศึกษาสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิท พบว่า ค่าความแข็ง abrasion loss ของยางคอมโพสิทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของกากกาแฟเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกากกาแฟไม่มีผลต่อระยะยืด ณ จุดขาด อย่างชัดเจน ยางคอมโพสิทที่มีปริมาณกากกาแฟ 20 และ 30 phr มีสมบัติเชิงกลเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น ได้แก่ ค่าความแข็ง ความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด ความทนต่อการขัดสี การเสียรูปหลังการกดอัด ดังนั้น กากกาแฟสามารถนำมาเป็นสารตัวเติมในยางคอมโพสิทและสามารถนำมาทำเป็นแผ่นยางปูพื้นได้

คำสำคัญ : กากกาแฟ ยางธรรมชาติ สมบัติเชิงกล

Rubber sheet from natural rubber and spent coffee ground

Saisamorn Lumlong[1*] Pannatat Namkort[1] Jakkrawut Kongon[1] Pornpan Pungpo[1] and Taksaporn Inmanee[1]
[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathai Universty
*E-mail : g3936619@hotmail.com

Abstract

We studied the effect of spent coffee ground on the mechanical properties of rubber composites for rubber sheet such as sports ground rubber, rubber crab and playground. Rubber compound was prepared by internal mixer and two-roll mill. The amounts of spent coffee ground were varied from 0-30 phr. The mechanical properties of rubber composites were investigated. The results showed that hardness and abrasion loss of rubber composites were increased when increasing the amount of spent coffee ground, except elongation at break. The amount of spent coffee ground 20 and 30 phr have the mechanical properties (hardness, tensile strength, elongation at break, abrasion, compression set) conforming to the standard of rubber sheet. Taken together, spent coffee ground has the potential to be used as filler in natural rubber composite.

Keywords : Spent Coffee Ground, Natural Rubber, Mechanical Property

บทนำ

กาแฟมีการเพาะปลูกในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกประมาณ 80 ประเทศ กาแฟจัดว่าเป็นเครื่องดื่มชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมมากที่สุดอันเนื่องมาจากการมีรสชาติที่ดี กลิ่นหอม มีฤทธิ์กระตุ้นและทำให้สดชื่น กาแฟเป็นสินค้าที่มีการซื้อขายมากเป็นอันดับสองรองจากปิโตรเลียม (Campos-Vegaa et al., 2015) กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) รายงานผลผลิตกาแฟโลกปี 2561/62 มีปริมาณ 10.47 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 9.53 ล้านตัน ของปี 2560/61 ร้อยละ 9.86 เนื่องจากสภาพอากาศเอื้ออำนวย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร รายงานความต้องการ ใช้เมล็ดกาแฟของโรงงานแปรรูปในประเทศ ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ในปี 2561 มีปริมาณ 95,000 ตัน เพิ่มขึ้นจาก 75,000 ตัน ของปี 2557 ปริมาณ 20,000 ตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.08 (ณัฐวณี และ วิชชุพร, 2562) เนื่องจากความต้องการของโรงงานแปรรูปเพิ่มขึ้น ทั้งเพื่อการบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออก อุตสาหกรรมกาแฟเป็นก่อให้เกิดของเหลือปริมาณมาก ได้แก่ กากกาแฟ (spent coffee ground, SCG) และ เยื่อหุ้มเม็ด (coffee silverskin) กากกาแฟเป็นของเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นในกระบวนการเตรียมกาแฟผงสำเร็จรูปโดยการสกัดผงกาแฟด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำร้อน ประมาณ 50% ของการผลิตกาแฟทั่วโลก คือ การเตรียมกาแฟที่ละลายน้ำได้ (soluble coffee) ซึ่งจะนำไปสู่กากกาแฟปริมาณประมาณ 6

ล้านตันต่อปี ดังนั้นเมื่อมีการบริโภคที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดของเสียที่เป็นกากกาแฟในภาคอุตสาหกรรมและร้านค้าที่มีการทำเครื่องดื่มกาแฟจะก่อให้เกิดกากกาแฟเป็นจำนวนมาก ของเสียจากกระบวนการผลิตกาแฟและจากการชงกาแฟมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในของเสียเหล่านี้มีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงไม่สามารถทิ้งได้โดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน องค์ประกอบหลักของกากกาแฟ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน (Yen et al., 2005 ; Ballesteros et al., 2014; Mussatto et al., 2011; Kovalcik et al., 2018; นฤภัทร และ พัชรี, 2558) ได้มีงานวิจัยที่จะนำกากกาแฟมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น Blinova และคณะ (2017) รายงานการผลิตไบโอดีเซลจากกากกาแฟ พิชัย เอี่ยวเล็กและกฤช สมนึก (2558) รายงานการนำกากกาแฟมาใช้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล และ พัชรี ปรีดาสุริยะชัย (2558) รายงานการนำกากกาแฟและกากชามาใช้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง Mussatto และคณะ (Mussato et al., 2011) รายงานว่าการนำกากกาแฟมาใช้เป็นอาหารสัตว์ก็มีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากการมีลิกนินในปริมาณสูง อนุชา เสลานอก และคณะ (2561) รายงานการนำกากกาแฟมาใช้เป็นวัตถุดิบในการออกแบบผลิตภัณฑ์สปา วันทนา นาคีสินธ์ (2556) รายงานการใช้กากกาแฟเป็นสารทดแทนขี้เลื้อยในการเพาะเห็ดนางรมฮังการี García-García และคณะ (García-García et al., 2015) รายงานการใช้กากกาแฟเป็นสารตัวเติมในพอลิโพรพิลีนพบว่าการเติมกากกาแฟทำให้คอมโพสิทมีค่า flexural strength และ ความทนต่อแรงกระแทกลดลง แต่ค่า flexural modulus เพิ่มขึ้น Essabira และคณะ (Essabira et al., 2018) รายงานการศึกษาการเตรียมไบโอคอมโพสิทจากพอลิโพรพิลีนและกากกาแฟที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยเครื่องอัดฉีด พบว่าค่าโมดูลัสของคอมโพสิทเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกากกาแฟเพิ่มขึ้น การปรับปรุงพื้นผิวกากกาแฟด้วยการฟอกขาวและการเติมสารประสานส่งผลให้การกระจายตัวของกากกาแฟในพอลิเมอร์ดีขึ้น ทำให้คอมโพสิทที่เติมกากกาแฟที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่าคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิว สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2553) รายงานว่าประเทศไทยมีการปลูกยางพาราเป็นจำนวนมาก จัดว่าเป็นประเทศที่มีการส่งออกยางพารามากที่สุด สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สถิติการเกษตรประเทศไทย ปี 2561 รายงานปริมาณผลผลิตยางพาราปี 2561 จำนวน 4.84 ล้านตันยางดิบ ผลผลิตต่อไร่ 243 กิโลกรัมยางดิบ ต่อไร่ต่อปี เมื่อเทียบกับปี 2560 ที่มีผลผลิต 4.50 ล้านตันยางดิบ ผลผลิตต่อไร่ 236 กิโลกรัมยางดิบต่อไร่ต่อปี พบว่า ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.55 และผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.97 ทินกร เพชรสูงเนิน (2562) รายงานปริมาณการส่งออกยางพาราของไทยในปี 2561 เท่ากับ 4.35 ล้านตัน ลดลงร้อยละ 0.46 จากปี 2560 ที่มีปริมาณส่งออก 4.37 ล้านตัน ปุญญานิช อินทรพัฒน์ (2553) รายงานว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีการเติมสารตัวเติม สารตัวเติมส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ยางเป็นวัสดุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ เช่น เขม่าดำ ซึ่งมาจากกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำกากกาแฟมาใช้เป็นสารตัวเติม เนื่องจากกากกาแฟมีส่วนประกอบ เช่น น้ำมัน เส้นใย และ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ส่วนที่เป็นเส้นใยทำให้สามารถนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกหรือยางพาราได้ (ณัฐพงศ์ ตันติวัฒนพันธ์, 2562) เพื่อเตรียมเป็นแผ่นยางปูพื้นเพื่อเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้ยางพาราและกากกาแฟ เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากกาแฟ โดยศึกษาผลของปริมาณกากกาแฟต่อสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิท ทดสอบว่ายางคอมโพสิทมีสมบัติเชิงกลเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้นหรือไม่ อย่างไร

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมกากกาแฟ

นำกากกาแฟที่ได้จากร้านกาแฟภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีมากระจายในถาด จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง เมื่อแห้งให้นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 300 เมช (300 ช่องต่อตารางนิ้ว)

2. การเตรียมมาสเตอร์แบท

นำกากกาแฟที่ผ่านร่อน 30.9 กรัม กระจายตัวในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร จากนั้นกวนเป็นเวลา 30 นาที เทน้ำยางข้น 200 มิลลิลิตร ลงไป กวนต่ออีก 20 นาที เพื่อให้กากกาแฟกระจายตัวในน้ำยาง และเทลงบนถาดกระจก นำไปอบที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้งสนิท

3. การเตรียมยางคอมปาวด์

บดผสมยางคอมปาวด์ โดยใช้เครื่องบดผสมแบบปิดโดยใช้อุณหภูมิการบดผสมที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบในการศึกษาสมบัติเชิงกลต่อไปโดยใช้สูตร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรการบดผสมยางคอมปาวด์

สารเคมีและยาง	ปริมาณ (phr)
natural rubber (NR)	100
stearic acid	2
zinc oxide	5
spent coffee ground	0, 10, 20, 30
wing stay L	2
CBS	0.5
sulphur	2.5

4. การขึ้นรูปยางวัลคาไนซ์

ทดสอบเวลาในการคงรูปของยางคอมปาวด์ โดยเครื่องทดสอบหาเวลาการขึ้นรูปวัลคาไนซ์ของยาง (Moving die rheometer; MDR) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปยางที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และนำไปทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น เลขที่ มอก. 2377 – 2551 แสดงดังตารางที่ 2 วัดตัวอย่าง 3 ชิ้น แล้วหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, S.D.)

การคำนวณค่าเฉลี่ย

$$\text{Mean } (\bar{x}) = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N}}$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X คือ ข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3..., n)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ 2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น

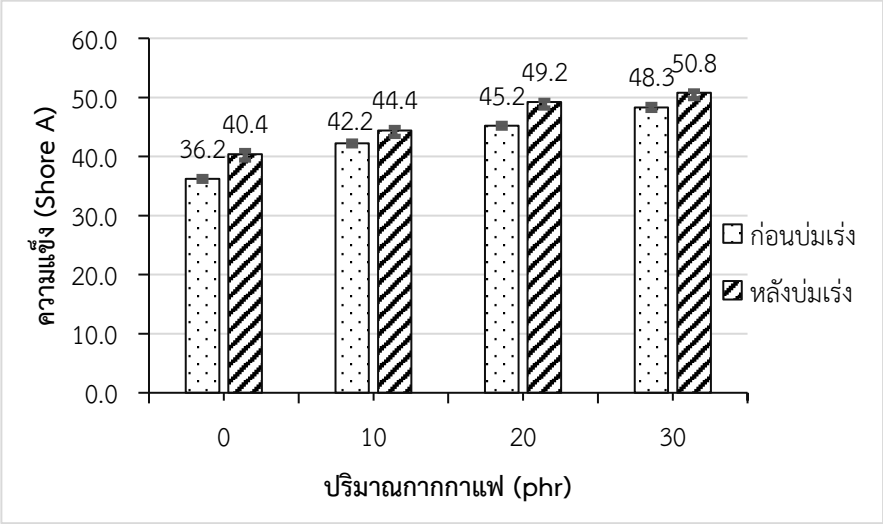
สูตรยาง	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม							
	ความแข็ง (Shore A)	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ระยะยืดณ จุดขาด (%)	การบ่มเร่ง (70±1 °C x 72 h)			การเสียรูปหลังการกดอัด (%)	ความทนต่อการขัดสี (mm^3)
				ความแข็ง (Shore A)	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ระยะยืด ณ จุดขาด (%)		
แผ่นยางปูพื้น	50±5	มากกว่า 4	ไม่ต่ำกว่า 150	±5	ลดลงไม่เกิน 25%	ลดลงไม่เกิน 50%	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 500

ผลการวิจัย

ความแข็ง

การศึกษาความแข็งของยางคอมโพสิทที่มีปริมาณของกากกาแฟ 0, 10, 20 และ 30 phr พบว่าเมื่อเติมกากกาแฟลงไปในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ยางคอมโพสิทมีความแข็งเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จุฑาทิพย์ และคณะ, 2556 ; Sae-oui และคณะ, 2550 ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการนำซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยางคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟ 20 และ 30 phr มีค่าความแข็งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ 50±5 Shore A

เมื่อนำยางคอมโพสิทไปผ่านการบ่มเร่ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าความแข็งของยางคอมโพสิทเพิ่มขึ้นเนื่องจากการให้ความร้อนทำให้ยางเกิดการ crosslink ของยางคอมโพสิทเพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้ยางคอมโพสิทมีความแข็งสูงขึ้น ซึ่งยางคอมโพสิทที่มีปริมาณกากกาแฟ 20 และ 30 phr ที่ผ่านการทดสอบมีความแข็งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ ความแข็งก่อนและหลังการบ่มเร่งมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน ±5 Shore A



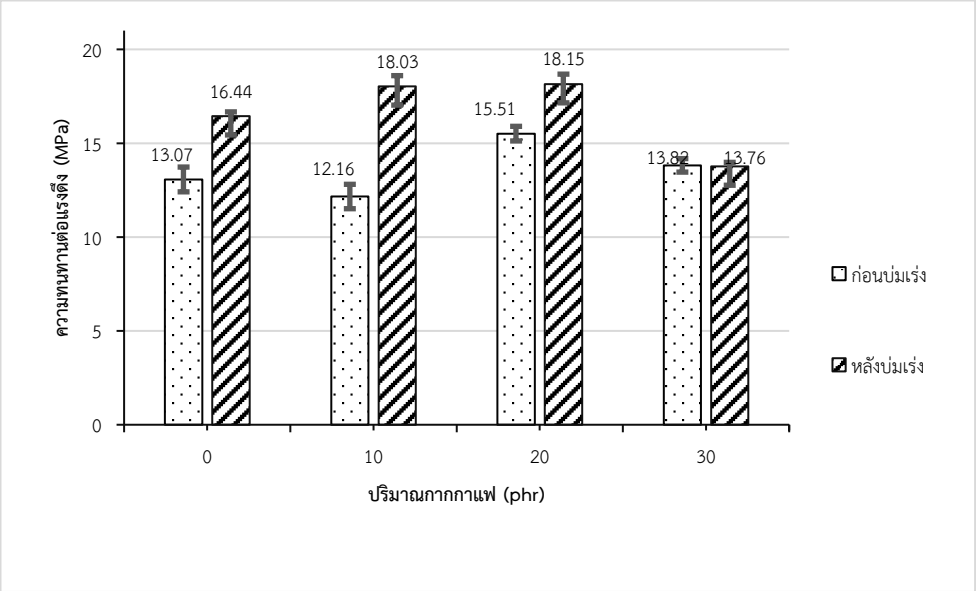
รูปที่ 1 ค่าความแข็งของยางคอมโพสิทก่อนและหลังการบ่มเร่งที่แปรปริมาณการเติมกากกาแฟ

ความทนทานต่อแรงดึง

ความทนทานต่อแรงดึงของยางคอมโพสิทที่มีปริมาณของกากกาแฟ 0, 10, 20 และ 30 phr ค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางคอมโพสิทมีค่าสูงขึ้น เมื่อเติมปริมาณกากกาแฟถึง 20 phr แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมกากกาแฟ 30 phr การที่ยางคอมโพสิทมีความทนทานต่อแรงดึงลดลง เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟที่มีหมู่ที่ชอบน้ำอยู่จำนวนมาก ทำให้เกิดแรง

ยืดเหนี่ยวกับยางได้น้อย ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sae-oui และคณะ (2545) ศึกษาเกี่ยวกับการนำเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าแกลบ ค่าความทนทานต่อแรงดึงจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่ง จากนั้นก็จะลดลง อย่างไรก็ตามยางคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟ ตั้งแต่ 0 ถึง 30 phr มีค่าความทนทานต่อแรงดึงอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ ไม่น้อยกว่า 4 MPa

เมื่อผ่านการบ่มเร่งค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางคอมโพสิทเพิ่มขึ้นยกเว้นยางคอมโพสิทมีปริมาณของกากกาแฟ 30 phr เนื่องจากการบ่มเร่งทำให้ความทนทานต่อแรงดึงลดลง จะเห็นได้ว่ายางคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟตั้งแต่ 0 ถึง 30 phr มีค่าความทนทานต่อแรงดึงอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ หลังการบ่มเร่งมีค่าลดลงไม่เกิน 25%

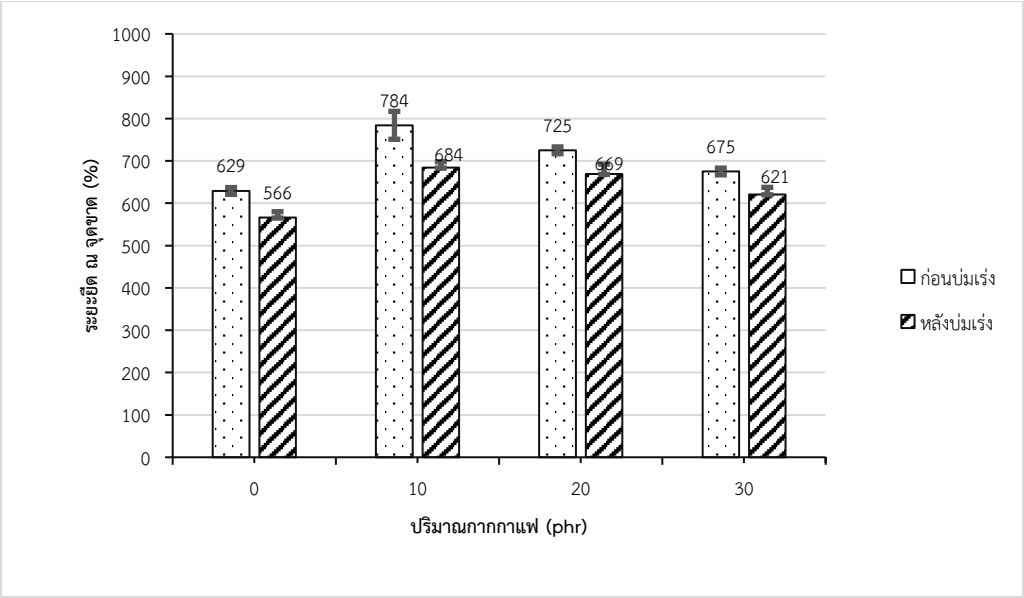


รูปที่ 2 ค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางคอมโพสิทก่อนและหลังการบ่มเร่งที่แปรปริมาณการเติมกากกาแฟ

ระยะยืด ณ จุดขาด

ระยะยืด ณ จุดขาดของยางคอมโพสิทที่มีปริมาณของกากกาแฟ 0, 10, 20 และ 30 phr มีค่าระยะยืด ณ จุดขาด เท่ากับ 629, 784, 725 และ 675% ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ายางคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟตั้งแต่ 0 ถึง 30 phr มีค่าระยะยืด ณ จุดขาด อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ ไม่น้อยกว่า 150%

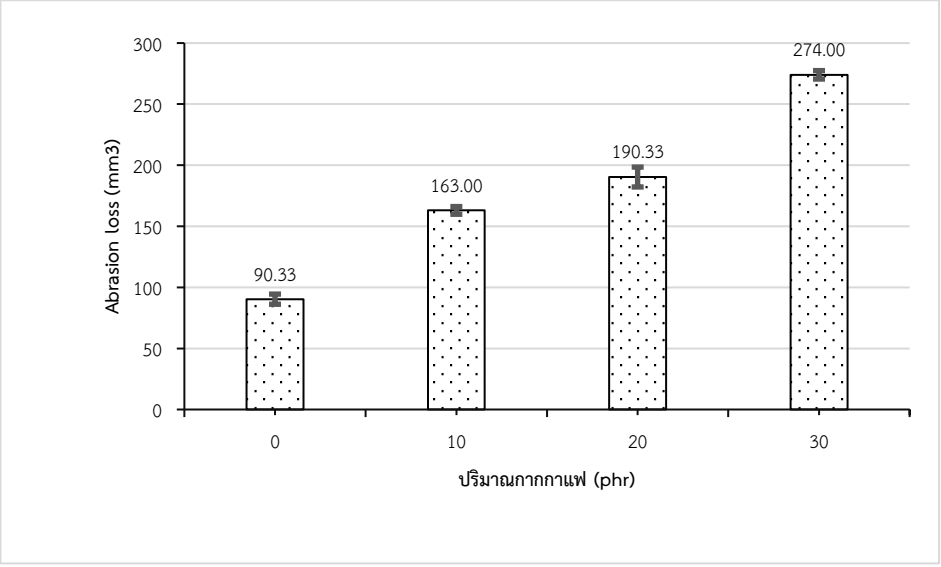
เมื่อนำยางคอมโพสิทที่มีปริมาณของกากกาแฟ 0, 10, 20 และ 30 phr ไปผ่านการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่ามีค่าระยะยืด ณ จุดขาด เท่ากับ 566, 684, 669 และ 621% ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 พบว่า การบ่มเร่งส่งผลให้ค่าระยะยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากระยะยืดเกี่ยวข้องกับความแข็งการบ่มเร่งจึงทำให้ยางเกิดการ crosslink เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งสูงขึ้น ความยืดหยุ่นจึงลดลง จะเห็นได้ว่ายางคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟตั้งแต่ 0 ถึง 30 phr มีค่าระยะยืด ณ จุดขาด อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ หลังการบ่มเร่งมีค่าลดลงไม่เกิน 50%



รูปที่ 3 ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของยางคอมโพสิทก่อนและหลังการบ่มเร่งที่แปรปริมาณการเติมกากกาแฟ

ความทนต่อการขัดสี

ความทนต่อการขัดสีของยางคอมโพสิทที่มีปริมาณของกากกาแฟ 0, 10, 20 และ 30 phr มีค่า abrasion loss เท่ากับ 90.33, 163.00, 190.33 และ 274.00 mm^3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 ยางคอมโพสิทที่มีการเติมกากกาแฟมีค่า abrasion loss เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกากกาแฟเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของผิวกากกาแฟทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับยางได้น้อย ส่งผลให้ค่าความทนต่อการขัดสีน้อยลง จะเห็นได้ว่ายางคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟตั้งแต่ 0 ถึง 30 phr มีค่า abrasion loss อยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ ไม่เกิน 500 mm^3



รูปที่ 4 ค่าความทนต่อการขัดสีของยางคอมโพสิทที่แปรปริมาณการเติมกากกาแฟ

การเสียรูปหลังการกดอัด

จากการศึกษาการเสียรูปหลังการกดอัดของยางคอมโพสิทที่มีปริมาณของกากกาแฟ 0, 10, 20 และ 30 phr พบว่า มีค่าการเสียรูปหลังการกดอัด เท่ากับ 36.4, 15.8, 16.0 และ 16.8% ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 พบว่าการเพิ่มปริมาณกากกาแฟทำให้มี

แนวโน้มการเสียรูปหลังการกดอัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือปริมาณกากกาแฟไม่มีผลต่อการเสียรูปหลังการกดอัดของยางคอมโพสิท อย่างไรก็ตามการเติมกากกาแฟส่งผลให้การเสียรูปหลังการกดอัดมีค่าลดลง เนื่องจากยางคอมโพสิทมีการเติมกากกาแฟลงทำให้สัดส่วนของความเป็นยางลดลง ส่งผลให้ยางมีค่าการเสียรูปหลังการกดอัดเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่ายางคอมโพสิทที่เติมกากกาแฟตั้งแต่ 0 ถึง 30 phr มีการเสียรูปหลังการกดอัดอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น คือ ไม่เกิน 40%

ตารางที่ 3 ค่าการเสียรูปหลังการกดอัดของยางคอมโพสิทที่แปรปริมาณการเติมกากกาแฟ

ปริมาณกากกาแฟ (phr)	การเสียรูปหลังการกดอัด (%)
0	36.4±0.6
10	15.8±0.3
20	16.0±0.0
30	16.8±2.4

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของปริมาณกากกาแฟต่อสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิท พบว่า เมื่อเติมกากกาแฟในปริมาณ 10, 20 และ 30 phr จะส่งผลให้ค่าความแข็ง ความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด การเสียรูปหลังการกดอัดดีขึ้น เนื่องจากการเติมเฟสของแข็งลงไปในยาง ทำให้สัดส่วนที่เป็นยางลดลงและส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง ค่าความทนทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง โดยจะเพิ่มสูงสุดที่ปริมาณกากกาแฟ 20 phr และลดลงเมื่อเติมปริมาณกากกาแฟที่ 30 phr เนื่องจากการเติมกากกาแฟที่มากขึ้นเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งการเกิดอันตรกิริยากับยางได้ไม่ดี จึงทำให้มีค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง ค่าระยะยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง โดยจะลดลงที่ปริมาณ 10 phr เนื่องจากการเติมปริมาณของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนความเป็นยางลดลงซึ่งส่งผลทำให้ความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนี้ การเสียรูปหลังการกดอัดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเติมกากกาแฟส่งผลให้การเสียรูปหลังการกดอัดมีค่าลดลง เนื่องจากการเติมปริมาณของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้นทำให้ยางมีความยืดหยุ่นต่ำลง และความทนต่อการขัดสีเมื่อเติมปริมาณกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ abrasion loss เพิ่มขึ้น เนื่องจากกากกาแฟมีองค์ประกอบทางเคมีที่ชอบน้ำอยู่เป็นจำนวนมากเมื่อผสมกับยางที่มีองค์ประกอบที่ไม่ชอบน้ำทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันที่ไม่ดี ส่งผลให้ abrasion loss เพิ่มขึ้น จึงต้องมีการปรับปรุงพื้นผิวของกากกาแฟเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับยางได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อเพิ่มการยึดเหนี่ยวระหว่างยางและกากกาแฟควรปรับปรุงพื้นผิวด้วยการฟอกขาว การเติมสารประสาน (วริศรา บรภาค และคณะ, 2562) และการลดขนาดของสารตัวเติม เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนในด้านเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC)

เอกสารอ้างอิง

จุฑาทิพย์ อาจชมภู เดี่ยว สายจันทร์ และ ขวัญฤทัย บุญส่ง. **ประสิทธิภาพการลดพลังงานการผสมและสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติซิลิกามาสเตอร์แบท.** ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, 2556, 241-249. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ณัฐพงศ์ ตันติวัฒนพันธ์. **กากกาแฟ จากแก้วกาแฟสู่แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนสำหรับผลิตภัณฑ์ชีวภาพ.** วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 2562. 1-8.

นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล และ พัชรี ปรีดาสุริยะชัย. **การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง.** วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่ 7 ฉบับที่ 13 มกราคม - มิถุนายน 2558.15-26.

ปุญญานิช อินทรพัฒน์. **สารตัวเติมในยางธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ชีวมวล.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม 2555. 30-43.

พิชัย เอี่ยวเล็ก และ กฤช สมนึก. **การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง.** การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference, วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วันทนา นาคีสินธ์. 2556. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.** ค้นเมื่อ 23 มีนาคม 2562, จาก http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Wantana_Nakeesin/fulltext.pdf

วริศรา บรภาค, ณรงค์ เชื่องชยะพันธุ์, สกุลรัตน์ พิชัยยุทธ์ และ วรรณรัตน์ เชื่องชยะพันธุ์. **ผลของปริมาณซิลิกาต่อสมบัติของยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาที่มียางธรรมชาติอิพอกไซด์เป็นสารเพิ่มความสามารถในการเข้ากัน.** การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11, วันที่ 27-28 มีนาคม 2562. 1-8. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช

ทินกร เพชรสูงเนิน. **ยางพารา.** วารสารเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปีที่ 65 ฉบับที่ 747 กุมภาพันธ์ 2562, 29-30.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรประเทศไทย ปี 2561. ค้นเมื่อ 4 พฤาภาคม 2562, จาก http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/jounal/2562/yearbook2561.pdf

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2553. **ข้อมูลวิชาการยางพารา 2553.** ค้นเมื่อ 7 มิถุนายน 2559, จาก http://www.rubberthai.com/book/file/69.pdf.

อนุชา เสลานอก, ธีระยุทธ์ เพ็งชัย และ มาริญา ทรงปัญญา. **การศึกษาแนวทางการนำกากกาแฟมาใช้เป็นวัตถุดิบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดสปา.** Journal of Asia Design & Research. 1 (1), 2018, 45-53.

Adriana Kovalcik, Stanislav Obrucaa, and Ivana Marovaa. **Valorization of spent coffee grounds: A review.** Food and Bioproducts Processing. 1 1 0, 2 0 1 8, 104–119.

D. García-García, A. Carbonell, M.D. Samper, D. García-Sanoguera, and R. Balart. **Green composites based on polypropylene matrix and hydrophobized spend coffee ground (SCG) powder.** Composites Part B. 78, 2015, 256-265.

Hamid Essabira , Marya Rajia,b , Sana Ait Laaziza , Denis Rodriquec , Rachid Bouhfida , and Abou el kacem Qaissa. **Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds.** Composites Part B. 149, 2018, 1–11.

Lenka Blinova, Alica Bartosova, and Maroš Sirotiak. **Biodiesel production from spent cofffee grounds.** Research papers faculty of materials science and technology in Trnava Slovak Univesity of technology in Bratislava. 25(40), 2017, 113-121.

Lina F. Ballesteros, José A. Teixeira, and Solange I. Mussatto . **Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin.** Food Bioprocess Technology. 7, 2014, 3493–3503.

Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., and Teixeira, J. A. **Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds.** Separation and Purification Technology. 83, 2011, 173–179.

Rocio Campos-Vegaa, Guadalupe Loarca-Pina , Hayde A. Vergara-Castaneda and B. Dave Oomahb. **Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects.** Trends in Food Science & Technology. 45, 2015, 24-36.

Sae-oui, P., Sirisinha, C. Wantana, T. and Hatthapanit, K. **Influence of silica loading on the mechanical properties and resistance to oil and thermal aging of CR/NR blends.** Journal of Applied Polymer Science. 104, 2007, 3478–3483.

Sae-oui, P., Rakdee, C., and Thanmathorn, P. **Use of rice husk ash as filler in natural rubber vulcanizates: In comparison with other commercial fillers.** Journal of Applied Polymer Science. 83(11), 2002, 2485–2493.

Solange I. Mussatto, Ercília M. S. Machado, Silvia Martins, and José A. Teixeira. **Production, composition, and application of coffee and its industrial residues.** Food Bioprocess Technology. 4, 2011, 661–672.

Wen-Jye Yen, Bor-Sen Wang, Lee-Wen Chang, and Pin-Der Duh. **Antioxidant properties of roasted coffee residues.** Journal of Agricultural Food Chemistry. 53, 2005, 2658–2663.

แผ่นฟิล์มชีวภาพจากเส้นใยสับปะรด

จิรพรรณ มีทองเหลา[1] จักราวุธ คงอ่อน[1] พรพรรณ พึ่งโพธิ์[1] และ สายสมร ลำลอง[1*]
[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail : g3936619@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ซีเอ็มซี)จากเซลลูโลส เซลลูโลสสกัดจากใบสับปะรดโดยกำจัดลิกนินโดยการแช่ในสารละลาย 1 โมลาร์โซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นฟอกขาวด้วย 1.5% โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ทำการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก สังเคราะห์ซีเอ็มซีจากปฏิกิริยาอีเทอริฟิเคชันโดยใช้เซลลูโลสจากใบสับปะรดและกรดโมโนคลอโรอะซิติก ฟิล์มซีเอ็มซีเตรียมโดยวิธี solution casting ศึกษาผลของกลีเซอรอลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดและซีเอ็มซีเกรดการค้า แปรปริมาณกลีเซอรอลตั้งแต่ 0-30 % โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี จากผลการทดลองพบว่าซีเอ็มซีสามารถเตรียมได้จากเซลลูโลสใบสับปะรด สมบัติเชิงกลของฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดและซีเอ็มซีเกรดการค้า เช่น มอดูลัส ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด และความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ยกเว้นค่าระยะยืด ณ จุดขาด เซลลูโลสจากใบสับปะรดมีศักยภาพที่จะใช้เตรียมเป็นเซลลูโลสเพื่อใช้ในการผลิตฟิล์มซีเอ็มซี

คำสำคัญ : เส้นใยสับปะรด ฟิล์ม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

Biological film from pineapple fiber

Jiraphan Meethonglao[1], Jakkrawut Kongon[1], Pornpan Pungpo[1] and Saisamorn Lumlong[1*]
[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
*E-mail : g3936619@hotmail.com

Abstract

The aim of this research is to study the preparation of carboxymethyl cellulose (CMC) from cellulose. Fiber was extracted from pineapple leaves. Lignin was removed from leaves by submerging in 1 M sodium hydroxide solution. After that the fiber was bleached by using 1.5% sodium hypochlorite. Then, it was hydrolyzed by sulfuric acid. CMC was synthesized by using cellulose and monochloroacetic acid for etherification reaction. The CMC film was prepared by solution casting. The effect of glycerol on mechanical properties of the CMC film from pineapple cellulose and CMC commercial grade were determined by varying the amount of glycerol from 0-30 % wt of CMC. The results showed that CMC can be synthesized by using cellulose from pineapple leave. The mechanical properties of CMC film from pineapple and CMC commercial grade were decreased when increasing the amount of glycerol in terms of modulus, ultimate tensile strength and tensile strength at break except for elongation at break. Cellulose from pineapple leaves has the potential to be used as cellulose for CMC film preparation.

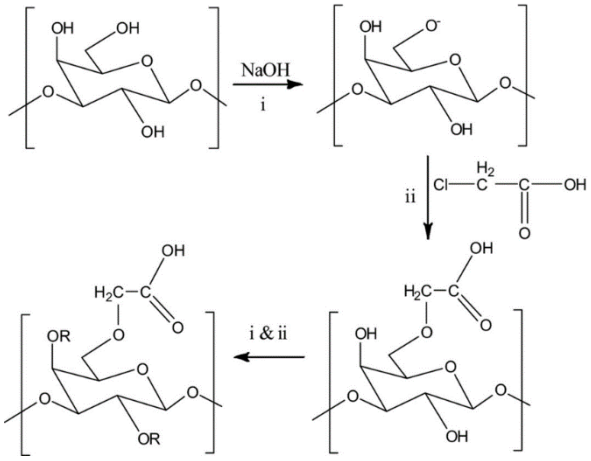
Keywords : Pineapple Fiber, Film, Carboxymethyl Cellulose

บทนำ

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจมีการปลูกในหลายพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกสับปะรดกระป๋องอันดับ 1 ของโลก มีพื้นที่ปลูกสับปะรดในประเทศไทยเกือบ 600,000 ไร่ ทำให้มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่น่าสนใจ คือ ใบ เปลือก และแกนสับปะรด ในแต่ละรอบการผลิตจะมีใบสับปะรดสดที่ถูกทิ้งรวมมากกว่า 4000 กิโลกรัมต่อไร่ (ในบางพื้นที่อาจมีมากถึง 8,000 – 10,000 ตันต่อไร่) ใบสับปะรดเหล่านี้เป็นภาระต่อเกษตรกร ใบสับปะรดสดมีเส้นใยโดยเฉลี่ยประมาณ 2.7 %โดยน้ำหนัก ดังนั้นหากสามารถแยกเส้นใยเหล่านี้ออกมาจากใบสับปะรดได้ ก็จะได้เส้นใยอย่างน้อยประมาณ 100 กิโลกรัมต่อไร่ (หรืออาจสูงถึง 216 - 270 กิโลกรัมต่อไร่) ปริมาณเส้นใยแห้งที่ได้นี้อาจถือได้ว่าเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างสูงหากเทียบกับผลผลิตปอ ที่มีอัตราผลผลิตเฉลี่ยเส้นใยแห้งประมาณ 240 กิโลกรัมต่อไร่ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และ นันทยา เก่งเขต, 2557) เนื่องจากใบสับปะรดเป็นแหล่งของสาร

สเตอรอยด์ และอื่นๆ และเป็นแหล่งของเส้นใยเซลลูโลสที่สามารถแปรรูปไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น เส้นใยเซลลูโลสสำหรับงานศิลปหัตถกรรม เยื่อกระดาษ หรือใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์คอมโพสิต และการนำเส้นใยมาแปรรูปเป็นผงเซลลูโลสและอนุพันธ์ต่างๆ

ซีเอ็มซี เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ชนิดหนึ่ง จัดว่าเป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิล (ปิยพร ร่มแสง และ คณะ) รูปที่ 1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง monochloroacetic acid กับ carbohydrate



รูปที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง monochloroacetic acid กับ carbohydrate (R: H or $–CH_2–COOH$)
(Liu, J. et al., 2016)

ในปี พ.ศ. 2523 สุมิตรา ภูมิสะอาด รายงานผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของเซลลูโลส และซีเอ็มซี จากแกลบข้าวเหนียวและฝ้าย พบว่า ซีเอ็มซีจากแกลบจะละลายน้ำได้ดีกว่าซีเอ็มซีจากฝ้าย อาจเป็นเพราะว่าเซลลูโลสของแกลบมีสายโซ่พอลิเมอร์สั้นกว่าฝ้าย ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลถูกแทนที่ด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิลได้ดีกว่าเซลลูโลสของฝ้ายซึ่งมีสายโซ่พอลิเมอร์ที่ยาวกว่า ในงานวิจัยนี้จึงเตรียมเซลลูโลสให้มีขนาดสายโซ่ที่สั้นลงโดยการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสจากใบสับปะรดด้วยกรดซัลฟิวริก

ในปี พ.ศ. 2539 Psomiadou, E. และคณะ รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส และ สตาร์ชข้าวโพด โดยพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการศึกษา คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล ซูโครส และ ไซโลส พบว่าผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มเป็นไปในรูปแบบเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติไซเซอร์จะทำให้ค่าระยะยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น แต่ค่าความทนทานแรงดึงลดลง โดยพลา-สติไซเซอร์ที่ให้ค่าความทนทานแรงดึงและค่าระยะยืด ณ จุดขาดที่ดีที่สุดคือ กลีเซอรอล

ในปี พ.ศ. 2559 สุจัยพรรณ เข็มแก้ว และ สุปราณี แก้วภิรมย์ รายงานผลการศึกษาผลของกลีเซอรอล และเพค-10 ไดเมทิโคนต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกทุเรียน โดยทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสของเปลือกทุเรียนเหลือทิ้ง สายพันธ์หมอนทอง ด้วยปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิเลชัน และเตรียมฟิล์มชีวภาพจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้หลายสูตร โดยใช้กลีเซอรอล และเพค -10 ไดเมทิโคนเป็นสารเติมแต่ง ศึกษาผลของปริมาณสารเติมแต่ง (10, 20 และ 30 %wt) ต่อสมบัติเชิงกล ความแข็ง โครงผลึกของแผ่นฟิล์ม พบว่าการเติมกลีเซอรอลช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่มีค่ามอดูลัสลดลง ในขณะที่การเติมเพค -10 ไดเมทิโคนส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง แต่ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น การเติมกลีเซอรอล 30 %wt ทำให้ฟิล์มชีวภาพที่ได้มีค่าการต้านทานแรงขีดข่วนสูงที่สุด และระยะยืด ณ จุดขาดสูงที่สุดเท่ากับ 47 %

ในงานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ใบสับปะรด มาใช้ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซี โดยปฏิกิริยาอีเทอริฟิเคชัน (etherification) เพื่อนำไปเตรียมเป็นฟิล์มซีเอ็มซี จากนั้นศึกษาของฟิล์มซีเอ็มซี เปรียบเทียบกับฟิล์มซีเอ็มซี

เกรดการค้า เนื่องจากมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและฟิล์มซีเอ็มซีจากชีวมวลน้อย เพื่อที่จะพัฒนาสมบัติของซีเอ็มซีจากชีวมวล ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนซีเอ็มซีเกรดการค้าได้

วิธีการวิจัย

สารเคมี

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (commercial grade) จากบริษัท BDH Laboratory Supplies
โซเดียมไฮโปคลอไรท์ จากบริษัท คาโอ อินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด
กรดซัลฟิวริก จากบริษัท Carlo Erba
กรดคลอโรอะซิติก จากบริษัท Acros organic
กลีเซอรอล และ ไอโซโพรพานอล (commercial grade) จากบริษัท Italmar

การเตรียมเส้นใยเซลลูโลส

นำเส้นใยเซลลูโลสจากใบสับปะรด 5.000 กรัม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนสารละลาย (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำประปาจนมีค่าพีเอชเป็นกลางและนำมาฟอกขาวด้วยโซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์ที่มีความเข้มข้น 1.5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนสารละลายทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำประปาจนมีค่าพีเอชเป็นกลาง แช่ในกรดซัลฟิวริก 1 โมล/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำประปาจนมีพีเอชเป็นกลาง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้เส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการไฮโดรไลซิส คำนวณเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

การเตรียมซีเอ็มซี

นำเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการไฮโดรไลซิสมา 1.000 กรัม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และเติมไอโซโพรพานอล 30 มิลลิลิตร จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที เติมกรดคลอโรอะซิติก 1.5 กรัม กวนด้วยเครื่องกวนสารละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการกรองล้างซีเอ็มซีด้วยเมทานอลและเอทานอล นำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักวิธีการเตรียมซีเอ็มซีปรับปรุงจากงานวิจัยของ ณัฏฐ์ธวดี จินาพันธ์ และ คณะ (2555) พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค attenuated total reflection Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy

ความสามารถในการละลายน้ำของซีเอ็มซี

นำซีเอ็มซี 0.3 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การเตรียมฟิล์มซีเอ็มซี

ชั่งซีเอ็มซี 1.5 กรัม เติมลงไปในน้ำ 150 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนสารละลาย เติมกลีเซอรอล แปรปริมาณกลีเซอรอล (0, 10, 30, 50 และ 70% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี) กวนด้วยเครื่องกวนสารละลายและให้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เทสารละลายลงพิมพ์พลาสติกขนาด 17x25 เซนติเมตร และอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การทดสอบสมบัติเชิงกล

ตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาดความกว้าง 1.00 เซนติเมตร ความยาว 12.5 เซนติเมตร ความหนา 0.10 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความหนาด้วยเครื่อง digital caliper และ thickness gage ตามลำดับ ทดสอบลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอกด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA.XT Plus ยี่ห้อ SMS โดยจะทำการจับชิ้นงานที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้านด้วยระยะคงที่ แล้วทำการดึงยืดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงคงที่ 20 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงและระยะยืดของชิ้นงานบริเวณตรงกลาง วัด 3 ชิ้น แล้วหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, S.D)

การคำนวณค่าเฉลี่ย

$$\text{Mean } (\bar{x}) = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum$ X คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N}}$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X คือ ข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3..., n)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

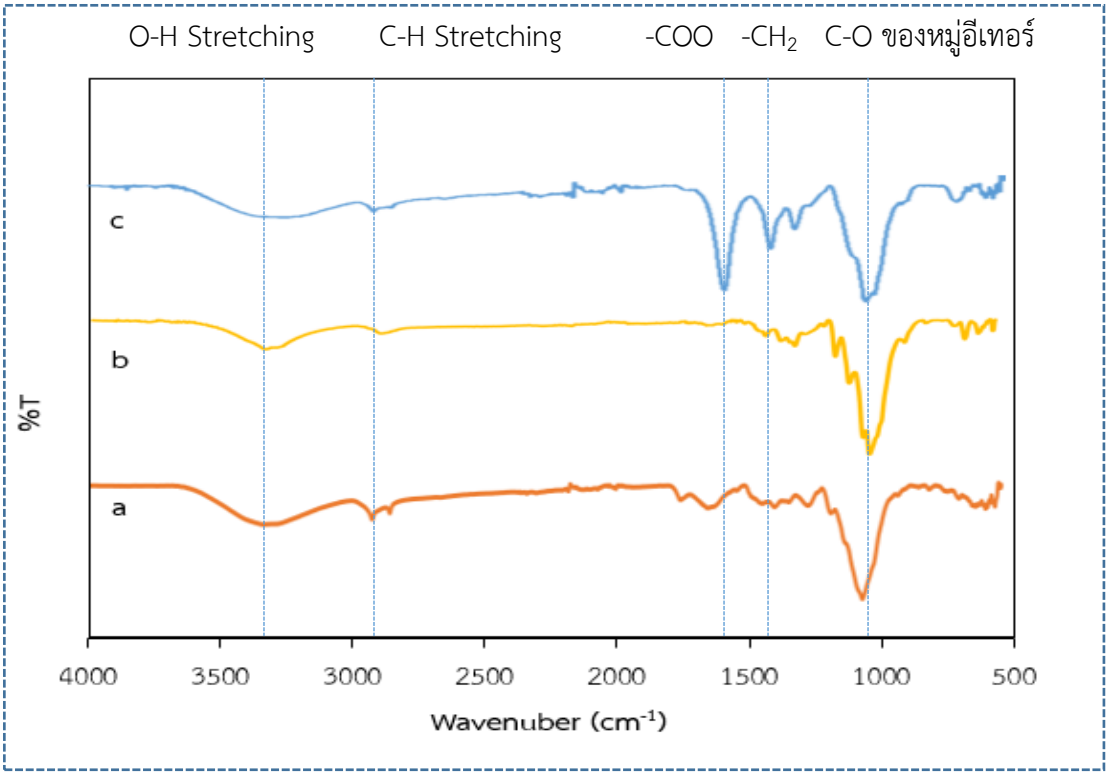
ผลการวิจัย

เซลลูโลสใบสับปะรดมีสีน้ำตาล ดังรูปที่ 2 (a) เมื่อผ่านกระบวนการกำจัดลิกนิน เมื่อนำไปฟอกขาวและไฮโดรไลซิสจะได้ผงเซลลูโลสที่มีสีเหลืองอมขาว มีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เท่ากับ 20.17 % ดังรูปที่ 2 (b) เมื่อนำเซลลูโลสไปสังเคราะห์ซีเอ็มซี พบว่าซีเอ็มซีเป็นผงสีขาว มีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เท่ากับ 168.3% ดังรูปที่ 2 (c)

(a) (b) (c)

รูปที่ 2 เซลลูโลส (a) ก่อนไฮโดรไลซิส (b) หลังไฮโดรไลซิส และ (c) ซีเอ็มซี

จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR เซลลูโลสใบสับปะรดก่อนและหลังการไฮโดรไลซิส พบพีคของ พันธะ C=C aromatic stretching ที่ 1600 cm^{-1} และ C=O ที่ 1750 cm^{-1} ของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส หายไปหลังการไฮโดรไลซิส เมื่อนำเซลลูโลสมาสังเคราะห์ซีเอ็มซีพบว่าจะเกิดพีคของ O-H stretching ที่ 3600-3200 cm^{-1}, C-H stretching ที่ 2900 cm^{-1}, carbonyl (C=O) ที่ 1589 cm^{-1}, $-CH_2$ ที่ 1410 cm^{-1} และ ether group (-O-) ที่ 1050 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alizadeh, SA et al. (2017) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ATR-FTIR สเปกตรัมของ: (a) เซลลูโลสใบสับปะรดก่อนการฟอกขาวและไฮโดรไลซิส, (b) เซลลูโลสใบสับปะรดหลังการฟอกขาวและไฮโดรไลซิส (c) ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดหลังการฟอกขาวและ ไฮโดรไลซิส

ความสามารถในการละลายน้ำ

เมื่อละลายซีเอ็มซีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซีเอ็มซีเกรดการค้าสามารถละลายได้หมด ได้สารละลายใส ไม่มีสี ส่วนซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดสามารถละลายได้แต่ไม่ดีเท่าซีเอ็มซีเกรดการค้า เมื่อเพิ่มเวลาในการละลายมากขึ้น เป็น 2 และ 3ชั่วโมง ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดสามารถละลายได้มากขึ้น ดังรูปที่ 4 อาจเนื่องมาจากซีเอ็มซีที่เตรียมได้จากใบสับปะรดมีสายโซ่ยาวกว่าซีเอ็มซีเกรดการค้า จึงละลายได้ช้ากว่าซีเอ็มซีเกรดการค้า เมื่อใช้เวลาในการละลายเพิ่มขึ้น การละลายจึงดีขึ้น เพราะพอลิเมอร์มีเวลามากขึ้นในการเคลื่อนตัว เกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ดีขึ้น

(a) (b) (c) (d)

รูปที่ 4 การละลายในน้ำของ (a) ซีเอ็มซีเกรดการค้าที่เวลา 1 ชั่วโมง และ ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดที่เวลา (b) 1, (c) 2 และ (d) 3 ชั่วโมง

แผ่นฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้า

การเตรียมแผ่นฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ พบว่าฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้ามีลักษณะใสและมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล จะทำให้แผ่นฟิล์มมีความนิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 5

(a) (b) (c) (d) (e)

รูปที่ 5 แผ่นฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าที่ปริมาณกลีเซอรอล : (a) 0, (b) 10, (c) 30, (d) 50 และ (e) 70 % โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี

แผ่นฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด

การเตรียมแผ่นฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด พบว่าฟิล์มซีเอ็มซีจากเส้นใยเซลลูโลสใบสับปะรดมีลักษณะแผ่นฟิล์มที่มีสีเข้มกว่าและมีนิ่มกว่าซีเอ็มซีเกรดการค้า แผ่นฟิล์มซีเอ็มซีจากเส้นใยใบสับปะรดที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอล มีลักษณะแข็ง และเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล จะส่งผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความนิ่มมากขึ้น ฟิล์มจะมีความนิ่มมากที่สุดที่ปริมาณกลีเซอรอล 70% ดังรูปที่ 6

(a) (b) (c) (d) (e)

รูปที่ 6 ฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดที่ปริมาณกลีเซอรอล : (a) 0, (b) 10, (c) 30, (d) 50 และ (e) 70 % โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี

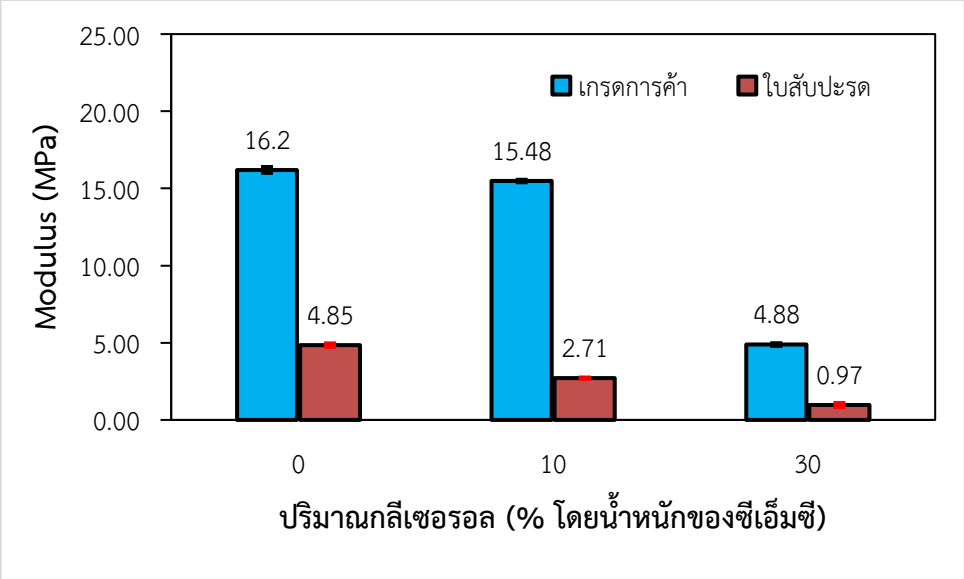
สมบัติเชิงกล

ค่ามอดูลัส

มอดูลัสของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าที่เติมกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี มีค่าเท่ากับ 16.20, 15.48 และ 4.88 MPa ตามลำดับ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณกลีเซอรอล 30% เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ ทำให้โมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้น

มอดูลัสของฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ที่เติมกลีเซอรอล 0, 10 และ 30 % โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี มีค่าเท่ากับ 4.85, 2.71 และ 0.97 MPa ตามลำดับ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น กลีเซอรอลส่งผลให้ค่ามอดูลัสของฟิล์มลดลงเหมือนฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้า

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้ามีค่ามอดูลัสสูงกว่าฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดประมาณ 3-6 เท่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากซีเอ็มซีเกรดการค้ามีความสามารถในการละลายน้ำดีกว่า ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่สม่ำเสมอ หรือการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลที่แตกต่างกันระหว่างซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ดังรูปที่ 7



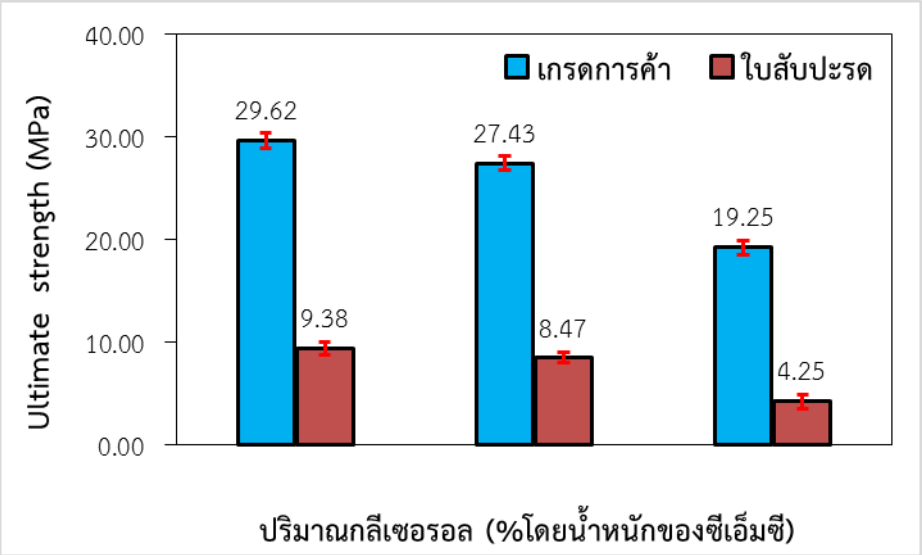
รูปที่ 7 มอดูลัสของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดที่ปริมาณกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี

ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด

ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด ของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าที่เติมกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี มีค่าเท่ากับ 29.62, 27.43 และ 19.25 MPa ตามลำดับ ดังรูปที่ 8 เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด ของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณกลีเซอรอล 30% ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมพลาสติไซเซอร์ทำให้โมเลกุลของซีเอ็มซีเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น โดยกลีเซอรอลจะไปแทรกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสองสายโซ่ลดลง ส่งผลให้พลาสติกนิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฏฐ์ธวดี จินาพันธ์ และคณะ (2555) ซึ่งได้พัฒนาฟิล์มซีเอ็มซีจากเยื่อฟางข้าว โดยวิธีหล่อขึ้นรูปโดยใช้สารละลายซีเอ็มซีความเข้มข้น 1, 2 และ 3% w/v และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ (0.25, 0.5 และ 1.0 % w/v) พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น สมบัติของฟิล์มจะดีขึ้น โดยมีค่าความทนทานต่อแรงดึงอยู่ในช่วง 15.13-29.22 MPa และค่าระยะยืด ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 6.29-33.53 % และ Thawien Bourtoom (2008) ศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติของฟิล์มที่ย่อยสลายได้เตรียมจากแป้งและไคโตซาน โดยใช้พลาสติไซเซอร์ 3 ชนิด คือ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล แปรความเข้มข้นตั้งแต่ 20-60% พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ส่งผลให้ความทนทานต่อแรงดึงลดลง แต่ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ความสามารถในการผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability) และความสามารถในการละลายของฟิล์ม (film solubility) เพิ่มขึ้น

ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด ของฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดที่เติมกลีเซอรอล 0, 10 และ 30 % โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี มีค่าเท่ากับ 9.38, 8.47 และ 4.25 MPa ตามลำดับ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด ของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับซีเอ็มซีเกรดการค้า

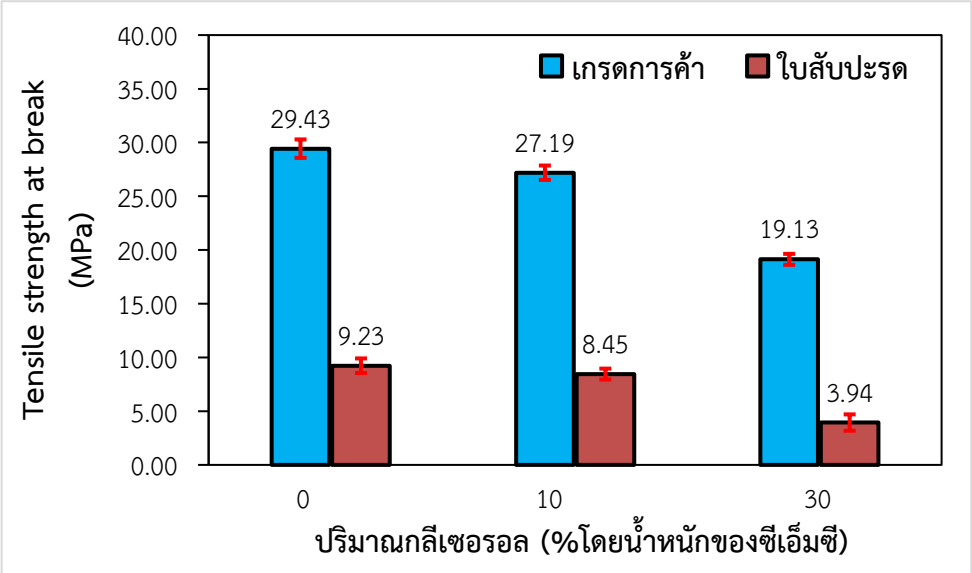
เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้ามีค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด สูงกว่าฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดประมาณ 3-5 เท่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความยาวของสายโซ่โมเลกุล ความสามารถในการละลายน้ำ การแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลของซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดแตกต่างกัน ส่งผลต่อความเป็นผลึก ความแข็งแรงของฟิล์ม



รูปที่ 8 ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด ของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ที่ปริมาณกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี

ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด

ปริมาณกลีเซอรอลส่งผลต่อความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาดของฟิล์มซีเอ็มซีทั้งเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดคล้ายคลึงกัน คือ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด ของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้ามีค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด สูงกว่าฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดประมาณ 3-4 เท่า ดังรูปที่ 9 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความยาวของสายโซ่ซีเอ็มซี การแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลในโมเลกุลของซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดแตกต่างกัน ส่งผลต่อความแข็งแรง ความเป็นผลึก ความทนทานต่อแรงดึงของฟิล์มซีเอ็มซี



รูปที่ 9 ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด ของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ที่ปริมาณกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี

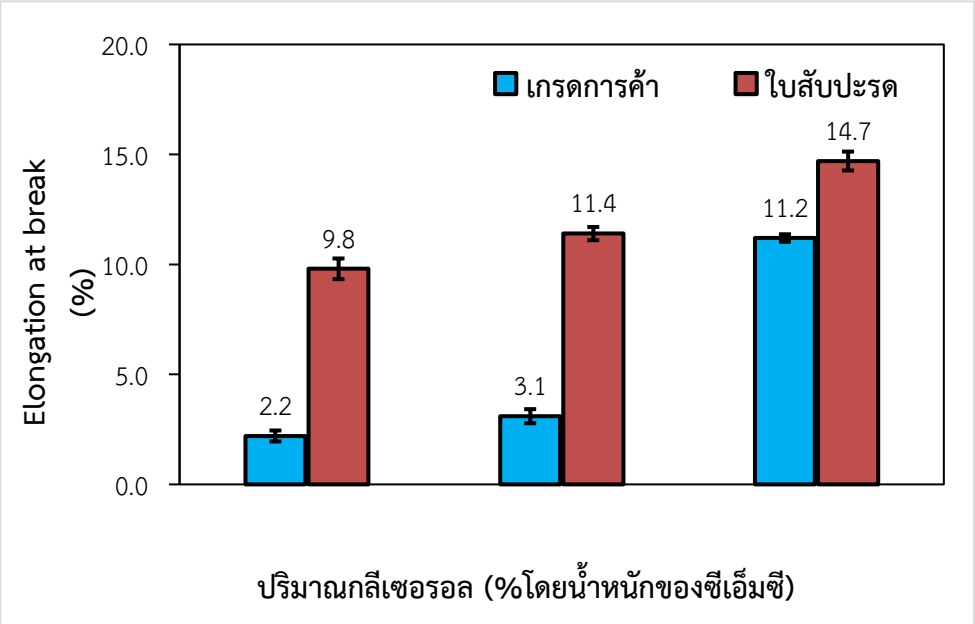
ค่าระยะยืด ณ จุดขาด

ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าที่เติมกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี มีค่าเท่ากับ 2.2, 3.1 และ 11.2% ตามลำดับ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณกลีเซอรอล 30% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลีเซอรอลไปแทรกระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ซีเอ็มซี ส่งผลให้อันตรกิริยาระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง ทำให้ฟิล์มมีความนิ่มเพิ่มขึ้น

ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดที่เติมกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี มีค่าเท่ากับ 9.8, 14.4 และ 14.7 % ตามลำดับ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้า

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ฟิล์มซีเอ็มซีจากเส้นใยเซลลูโลสใบสับปะรด มีค่าระยะยืด ณ จุดขาด สูงกว่าฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าประมาณ 3-4 เท่า ที่ปริมาณกลีเซอรอลไม่เกิน 10 % โดยน้ำหนัก ฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดมีความนิ่มมากกว่าซีเอ็มซีเกรดการค้า ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้าและซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรด ที่ปริมาณกลีเซอรอล 0, 10 และ 30% โดยน้ำหนักของซีเอ็มซี

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ซีเอ็มซีสามารถเตรียมได้จากเซลลูโลสใบสับปะรด แต่ความสามารถในการละลายน้ำไม่ดีเท่าซีเอ็มซีเกรดการค้าซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ อย่างไรก็ตามแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลไม่ดีเท่ากับซีเอ็มซีเกรดการค้า โดยมีค่ามอดูลัส ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด ต่ำกว่าประมาณ 3-6 เท่า แต่ฟิล์มซีเอ็มซีจากเซลลูโลสใบสับปะรดมีค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าฟิล์มซีเอ็มซีเกรดการค้า การเติมกลีเซอรอลส่งผลให้ค่ามอดูลัส ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดสูงสุด ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด มีค่าลดลง แต่ค่าระยะยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ดังนั้นเซลลูโลสใบสับปะรดมีศักยภาพในการที่จะนำมาพัฒนาเตรียมเป็นฟิล์มซีเอ็มซีชีวภาพเพื่อใช้แทนฟิล์มพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนในด้านเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC)

เอกสารอ้างอิง

ณัฏฐ์ธวดี จินาพันธ์, เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, สุทธิรา สุทธสุภา และ สุฐพัศ คำไทย. 2555. คุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเยื่อฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(3) (พิเศษ): 616-620.

ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และ นันทยา เก่งเขต. 2557. ใบสับปะรด: แหล่งเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ควรมองข้าม. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว (Srinakharinwirot Science Journal), 30 (2), 1-9.

สุมิตรา ภูมิสะอาด. 2523. การแยกเซลลูโลสจากพืชบางชนิดและการสังเคราะห์อนุพันธ์ของเซลลูโลส. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (สาขาการสอนเคมี)มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.สืบค้นจากhttp://cmuir.cmc.ac.th/handle/6653943832/32503 เมื่อวันที่ 11 พ.ค. 62

ปิยพร ร่มแสง, มัตติกา ไชยลังกา, รังสรรค์ กุนสะนา, วิชชากร กันทรัญ, อนุวัฒน์ โรจน์สินทรัพย์ และนพพล เล็กสวัสดิ์. CMC biopolymer. สืบค้นจาก http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/56/no07.pdf เมื่อวันที่ 11 พ.ค. 62

สุจัยพรรณ เข็มแก้ว และ สุปราณี แก้วภิรมย์. 2559. ผลของกลีเซอรอล และเพค-10 ไดเมทิโคนต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพ จากเปลือกทุเรียน.วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 12(2), 11-21.

Eleni Psomiadou, Ioannis Arvanitoyannis and Noboru Yamamoto. 1996. Edible films made from natural resources; microcrystalline cellulose (MCC), methylcellulose (MC) and corn starch and polyols-Part 2. Carbohydrate Polymers. 31, 193-204.

Jun Liu, Jianheng Shen, Youn Young Shim and Martin J. T. Reaney. 2016. Carboxymethyl derivatives of flaxseed *(Linum usitatissimum L.)* gum: characterisation and solution rheology. International Journal of Food Science and Technology. 51, 530–541.

Thawien Bourtoom. 2008. Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan. Songklanakarin Journal of Science Technology. 30 (Supplement 1), 149-165.

ฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคในอาหารโดยใช้เอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110

วรพล สุรพัฒน์[1*]
[1]สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
*E-mail : coprinaceae@gmail.com

บทคัดย่อ

เก็บตัวอย่างเห็ดหนังดำวาว (*Amauroderma dayaoshanense*) ไอโซเลต TVR110 จากป่าชุมชนบ้านท่าวารี อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี คัดแยกให้เป็นเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose broth เพาะเส้นใยในสภาพเหลวเพื่อสกัดเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ (EPS) พบว่าเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 ผลิต EPS ได้เท่ากับ 0.202 กรัมต่อลิตร การวิเคราะห์องค์ประกอบของ EPS ด้วยเครื่อง FTIR แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีโครงสร้างของโพลิแซคคาไรด์ การทดสอบทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Paper disc diffusion พบว่า EPS ที่สกัดได้มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus Pseudomonas aeruginosa* และ *Bacillus cereus*

คำสำคัญ : เอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ เห็ดหนังมันวาว การยับยั้งแบคทีเรีย

Inhibition Efficiency of Exopolysaccharide from *Amauroderma dayaoshanense* TVR110

Worapon Surapat[1*]
[1]Program of Microbiology, Facultry of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University
*E-mail : coprinaceae@gmail.com

Abstract

Sample of *Amauroderma dayaoshanense* isolated TVR110 was collected from Bann Tha Varee local forest, Amphoe Khueang Nai, Ubon Ratchathani District. Pure mushroom mycelium was isolated on potato dextrose agar medium. Pure mycelium was culture by submerge culture for extracted exopolysaccharide (EPS). The result showed that, EPS product of *A. dayaoshanense* isolated TVR110 was 0.202 grams per lite. Result of FTIR analysis confirmed the polysaccharide structure of mushroom sample. Bacterial inhibition efficiency test by Paper disc diffusion method presented EPS could inhibited *Escherichia coli* but not i *Staphylococcus aureus Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus cereus*

Keywords : Exopolysaccharide, *Amauroderma dayaoshanense*, Bacterial inbition

บทนำ

เห็ดเป็นตัวอย่างของอาหารที่มีประโยชน์ทั้งในทางโภชนาการและยังเป็นอาหารเป็นยา เมื่อตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการพบว่า เห็ดให้พลังงานน้อยมากและมีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 80-90 มีเส้นใยอาหารสูง โปรตีนสูง คาร์โบไฮเดรดต่ำและไขมันต่ำมาก นอกจากนี้ยังมีโซเดียมต่ำ ในทางการแพทย์แผนตะวันออกเองมีการใช้เห็ดเป็นยามานานหลายศตวรรษ โดยเรียกเห็ดเหล่านี้ว่า เห็ดทางการแพทย์ (medicinal mushrooms) ซึ่งเป็นเห็ดที่มีการศึกษาพบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (Pohleven et. al., 2016) เช่น เห็ดไมตาเกะ (*Grifola frondosa*) เห็ดยามาบูชิตาเกะ (*Hericium Erinaceus*) เห็ดหลินจือ (*Ganoderma lucidum*) เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) เห็ดกระดุม (*Agaricus brasiliensis*) เห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และ ถั่งเช่า (*Cordyceps sinensis*) เป็นต้น โดยเห็ดทางการแพทย์มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของเห็ด มีการใช้เห็ดทางการแพทย์เพื่อเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน พบว่าการออกฤทธิ์นั้นผ่านหลายกลไกทั้งทางตรงและทางอ้อม แตกต่างกันตามชนิดของเห็ด นอกจากนี้ยังพบประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ลดระดับโคเลสเตอรอล ช่วยยับยั้งการเกิดอาการแพ้ เป็นต้น (Zhao et al., 2017) อย่างไรก็ตามยังมีสายพันธุ์เห็ดอีกเป็นจำนวนมากที่ยังไม่ได้รับการวิเคราะห์ทางด้านเภสัชวิทยา (วาลุกา พลายงาม, 2015) ตัวอย่างเช่น เห็ดถอบหรือเห็ดเผาะซึ่งเป็นเห็ดที่มีราคาแพง มีสรรพคุณทางยาในการบำรุงร่างกายชูกำลังและแก้ร้อน (เพียงพิมพ์และคณะ. 2557) นอกจากเห็ดชนิดที่กล่าวมาเห็ดป่าพื้นเมืองในประเทศไทยหลายชนิดที่ถูกนำมาบริโภคและ

มีสรรพคุณเป็นเห็ดสมุนไพรพื้นบ้าน เช่น เห็ดแดงน้ำหมาก (*Russula emetic* (Schaeff. & Fr.) S.F.Gray.) เห็ดน้ำแป้งหน้าอ่อน (*R. alboareolata* Hongo.) เห็ดแป้งหน้าแข็ง (*R. japonica* Fr.) เห็ดหล่มขาว (*R. delica* Fr.) เห็ดหล่มกระเขียว (*R. virescens* Fr.) เห็ดถ่านเล็ก (*R. densifolia* (Secr.) Gill.) เห็ดถ่านใหญ่ (*R. nigricans* (Bull.) Fr.) เห็ดหน้าม่วง (*R. cyanoxantha*) เห็ดพุงหมู (*R. fragrantissima* Romagn.) เห็ดหล่มสีม่วงน้ำแป้ง (*R. vinosa* Lindbl.) เห็ดฟานสีแดงคล้ำ (*Lactarius corrugis* Fr.) และเห็ดฟานน้ำตาลแดง (*Lactarius volemus* Fr.) (ชฎากัลป์และคณะ, 2560)

สารสำคัญจากเห็ดที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ (Exopolysaccharides หรือ EPS) ในปัจจุบัน EPS ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ถูกนำมาใช้ในทางการค้าอย่างกว้างขวางทั้งในด้านอาหาร บรรจุภัณฑ์ เคมีภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์เสริมความงาม การเกษตร และทางการแพทย์ ซึ่ง EPS จัดเป็นสาระสำคัญที่มีมูลค่าสูง เนื่องจากความซับซ้อนในการผลิต และคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสมในการนำมาใช้ เช่น มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradation) และไม่ก่อโทษในมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม EPS ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ยังมีจำนวนน้อยมากที่ถูกนำมาใช้ในทางการค้าเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูง (Ozlem et al., 2015) ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการค้นหา EPS ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดหนึ่งจากเห็ดมาใช้ประโยชน์ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสให้แก่ผู้ผลิตสินค้าเพื่อสุขภาพได้อีกทางหนึ่ง จังหวัดอุบลราชธานีมีความหลากหลายทางชีวภาพของเห็ดสูง เห็ดหลายชนิดมีสรรพคุณในทางสมุนไพรที่แตกต่างกัน เห็ดสมุนไพรหลายชนิดมีการบริโภคเป็นอาหารพื้นบ้าน การนำเห็ดซึ่งเป็นทรัพยากรท้องถิ่นมาเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นจึงเป็นแนวทางที่สามารถพัฒนาต่อยอดสู่นวัตกรรมและผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพหลากหลายชนิด

วิธีการวิจัย

1 การเก็บตัวอย่างและคัดแยกเส้นใยบริสุทธิ์

เก็บตัวอย่างเห็ดจากพื้นที่ป่าชุมชนในเขตจังหวัดอุบลราชธานี นำตัวอย่างเห็ดกลับมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ห้องปฏิบัติการคัดแยกเส้นใยให้เห็ดบริสุทธิ์ตามวิธีของ Berovic et al. (2003) โดยใช้มีดผ่าตัดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วกรีดบริเวณดอกเห็ดแล้วใช้มือฉีกดอกเห็ดออกเป็น 2 ส่วน จากนั้นใช้เข็มเขี่ยเชื้อตัดเนื้อเยื่อเห็ดนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืด จนเส้นใยเจริญบนผิวหน้าอาหาร นำมาศึกษาลักษณะของเส้นใยที่เจริญขึ้นบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

2. การผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์

นำเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์ที่คัดแยกได้เพาะบนจานอาหาร PDA นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืด จนเส้นใยเห็ดเจริญขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-5 เซนติเมตร (Sajna et al., 2013) นำเส้นใยเห็ดในจานอาหาร PDA มาตัดวุ้นโดยใช้ cork bore ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ใช้เข็มเขี่ยเชื้อปลอดเชื้อถ่ายชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเห็ดจำนวน 5 ชิ้นลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุอาหาร potato dextrose broth (PDB) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วนำไปบ่มบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 วัน (Kim et al., 2006) แยกเส้นใยและของเหลวออกจากกัน โดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำเส้นใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ด้วยเครื่องอบรมร้อนแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาชีวมวล (Biomass) (Wan-Mohtar et al., 2016) นำส่วนใส (supernatant) มากำจัดโปรตีน (deproteinised protein) ด้วยวิธี Sevag method โดยนำส่วนใส (supernatant) และสารละลาย sevag reagent มาผสมกันโดยใช้ส่วนใส 5 ส่วนสมกับ sevag reagent 1 ส่วน แล้วนำไปเขย่าเป็นเวลา 30 นาทีแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนานข้ามคืน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนใส มาระเหยโดยใช้เครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะสูญญากาศ จนส่วนใสลดลงเหลือ 1 ใน 10 ของปริมาตรเดิม (Liu et al., 2013) สกัด EPS โดยเติม absolute ethanol 99.5 % 1 ส่วน ผสมกับส่วนใส (supernatant) 4 ส่วน เขย่าที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามด้วยการบ่มที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ข้ามคืน แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จะได้ crude EPS และ สารละลาย (supernatant) ทิ้งส่วนที่เป็นสารละลาย แล้วนำ crude EPS ที่สกัดได้ทำให้แห้งด้วยเครื่อง freeze dry และนำไปชั่งน้ำหนัก (Wang et al., 2012)

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ EPS ด้วย FT-IR

นำ EPS ที่สกัดได้จากข้อ 3 มาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง เปรียบเทียบสเปกตรัมที่ปรากฏขึ้นกับฐานข้อมูลเพื่อบ่งชี้องค์ประกอบของ EPS

4. การทดสอบทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Paper disc diffusion method

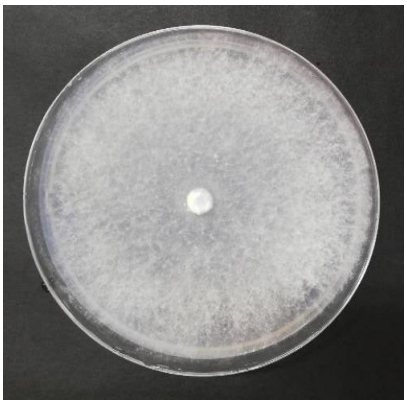
เตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus S. epidermidis P. aeruginosa E. coli* และ *B. cereus* ในอาหารเหลว nutrient broth (NB) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Ahmed et al., 2001) ไม้พันสำลีที่ปลอดจากเชื้อจุ่มเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมไว้ มาขีดให้ทั่วบนผิวอาหาร Mueller hinton agar (MHA) จากนั้นเตรียมสารละลาย EPS ความเข้มข้น 20,000 ppm แล้วใช้ Micropipette ดูดสารละลาย EPS ปริมาตร 5 ไมโครลิตร หยดลงในแผ่น paper disc นำแผ่น paper disc วางลงบนอาหารที่มีเชื้อแบคทีเรียทดสอบแล้ว โดยใช้น้ำกลั่นปลอดเชื้อเป็นชุดควบคุมที่ให้ผลลบ (negative control) และใช้ยา Penicillin เป็นชุดควบคุมที่ให้ผลบวก (positive control) เสร็จแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อ่านผลโดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง (inhibition zone) แต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ (Osiństka-Jaroszuk et al., 2014) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ EPS ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกับรายงานของ Andrews (2009)

ผลการวิจัย

1. ผลการเก็บตัวอย่างและคัดแยกเส้นใยบริสุทธิ์

ตัวอย่างเห็ดหนังดำวาวที่พบมีลักษณะทั่วไปคือ ดอกเห็ดมีขนาด 5.2 เซนติเมตร ขอบหยักเป็นคลื่นแผ่แบนราบผิวหมวกดอกสีดำ ผิวด้านมีลักษณะเป็นลอนคลื่น เจริญขึ้นเป็นดอกเดี่ยวบนต้นไผ่ (รูปที่ 1) ลักษณะเส้นใยที่เจริญบนผิวหน้าอาหาร PDA พบลักษณะเส้นใยสีขาวฟูละเอียด ขอบของเส้นใยมีสีเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 1 ลักษณะของเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 ที่เจริญในธรรมชาติ



รูปที่ 2 ลักษณะเส้นใยเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 ที่เจริญบนอาหาร PDA

2. ผลการผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์

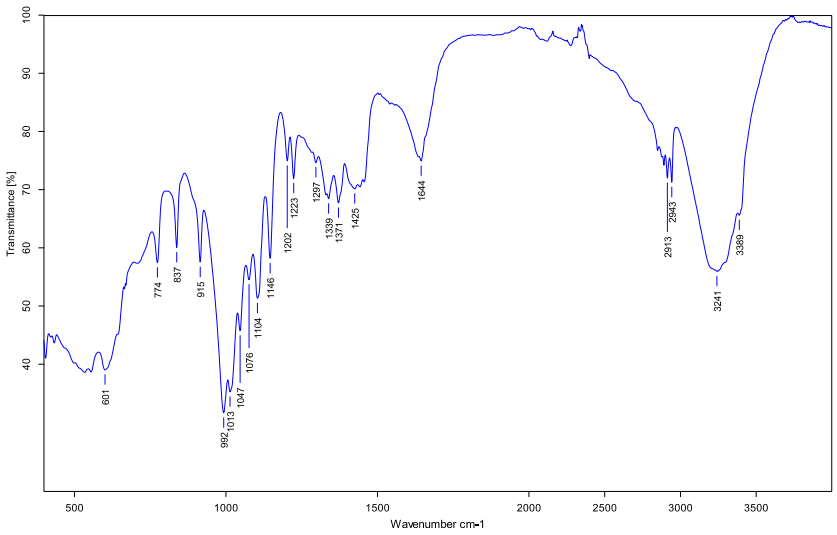
เห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 หลังจากเพาะได้ 14 วัน มีชีวมวลเท่ากับ 5.850 กรัมต่อลิตร และมีผลผลิต EPS เท่ากับ 0.202 กรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราส่วนผลผลิตต่อมวลเท่ากับ 0.173 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์

ลำดับ	ตัวอย่าง	น้ำหนัก EPS (กรัม/ลิตร)	Biomass (กรัม/ลิตร)	ผลผลิตต่อมวล
1	ชุดควบคุม	0	0	0
2	เห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110	0.202	5.850	0.173

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของ EPS ด้วย FT-IR

การวิเคราะห์องค์ประกอบของ EPS พบว่ามีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่เลขคลื่นในช่วง 3241 แสดงถึงองค์ประกอบของกรดคาร์บอกซิลิก (O–H stretching) การดูดกลืนที่เลขคลื่น 1425 และ 1644 แสดงถึงองค์ประกอบของ เอมีนและเอมีด (C–H stretching) การดูดกลืนที่เลขคลื่น 1425 แสดงถึงองค์ประกอบของหมู่ CH3 (C–H bending) การดูดกลืนที่เลขคลื่น 1013 ถึง 1339 แสดงถึงองค์ประกอบของอีเธอร์และเอสเทอร์ (C–O stretching) และการดูดกลืนที่เลขคลื่น 774 ถึง 992 แสดงถึงองค์ประกอบของอัลคีน (C–H (OOP bending) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ EPS จากเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 ด้วย FT-IR

4. ผลการทดสอบทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Paper disc diffusion method

จากการทดลองพบว่า EPS จากเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *E. coli* โดยเกิดบริเวณยับยั้งเชื้อ *E. coli* ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร แต่ไม่สามารถยั้บยั้งเชื้อ *S. aureus P. aeruginosa* และ *B. cereus* ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทดสอบฤทธิ์ของ EPS ต่อการยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Paper disc diffusion method

ลำดับ	เชื้อแบคทีเรีย	เส้นผ่าศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง (มิลลิเมตร)		
		เพนนิซิลิน (+)	น้ำกลั่น (-)	EPS จากเห็ด
1	*E. coli*	26.1^{d}	0.0^{a}	27.8^{d}
2	*S. aureus*	25.4^{d}	0.0^{a}	10.6^{b}
3	*P. aeruginosa*	18.2^{c}	0.0^{a}	0.0^{a}
4	*B. cereus*	21.3^{c}	0.0^{a}	0.0^{a}

หมายเหตุ ค่าที่มีตัวอักษรแตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เห็ดหนังดำวาว (*Amauroderma dayaoshanense*) ไอโซเลต TVR110 มีลักษณะสอดคล้องกับลักษณะของเห็ดหนังมันวาวที่บรรยายโดย นิวัติ (2553) คือ มีดอกเห็ดเกิดดอกเดี่ยว ขนาด 5-10 เซนติเมตร ขอบหยักเป็นคลื่นแผ่แบนราบผิวหมวกดอกมันวาวสีดำ หรือสีเทาจางเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลสลับดำจาง ผิวด้านเมื่อแก่ ลักษณะเป็นลอนคลื่น เนื้อดอกสีจางกว่าสีผิวดอก นำมาคัดแยกเส้นใยให้บริสุทธิ์พบเส้นใยสีขาวฟูละเอียด ขอบของเส้นใยมีสีเหลือง ทำการเพาะเลี้ยงเส้นใยบริสุทธิ์ในอาหาร PDB เพื่อสกัด EPS ได้ผลผลิต EPS เท่ากับ 0.202 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับ EPS ที่ผลิตจากเห็ดแครง (*Schizophyllum commune*) ที่รายงานโดย Hao et al. (2010) ซึ่งผลิตได้ 2.79 กรัมต่อลิตร แต่สูงกว่าเห็ดชิเมจิ (*Hypsizygus marmoreus*) ที่เพาะเลี้ยงในโรงเรือนที่ผลิต EPS ได้เพียง 0.015 กรัมต่อลิตร (Chen et al. 2017) เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดมีองค์ประกอบของโพลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล กรดคาร์บอกซิลิก หมู่เมทิล เอมีนและเอมีด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dinic´ et al., (2018) ที่รายงานว่าโพลิแซคคาไรด์โดยทั่วไปประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล และเอมีด เมื่อนำ EPS ที่สกัดได้มาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอาหารพบว่า EPS จากเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ จากการเปรียบเทียบขนาดวงใสที่เกิดขึ้นพบว่า EPS จากเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *E .coli* ได้เทียบเท่าเพนนิซิลินในทางสถิติ จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวจึงมีแนวโน้มที่จะนำ EPS ที่สกัดได้จากเห็ดหนังดำวาวมาใช้ทดแทนเพนนิซิลินเพื่อยับยั้งเชื้อ *E. coli* ในอุตสาหกรรมอาหารหรือด้านการแพทย์ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Manna et al. (2015) ที่รายงานว่า EPS ที่สกัดจากเห็ด *Termitomyces heimii* มีฤทธิ์ยับยั้ง *E. coli* ได้ อย่างไรก็ตาม EPS จากเห็ดหนังดำวาว ไอโซเลต TVR110 ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *S. aureus P. aeruginosa* และ *B. cereus* ซึ่ง Osi**ń**ska-Jaroszuk et al. (2014) ได้กล่าวว่า EPS เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้แตกต่างกันโดยการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียขึ้นกับองค์ประกอบของ EPS

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณจาก ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำหรับคณาจารย์และบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี งบประมาณรายได้ปี พ.ศ. 2561

เอกสารอ้างอิง

ชฎากัลป์ ชื่นชอบ, ศรีนวล ตันสุวรรณ และชมัยพร เจริญพร. 2560. ความหลากหลายของเห็ดป่าและราขนาดใหญ่ บริเวณวัดป่านันทวัน บ้านมะค่า ตำบลโพนทอง อำเภอสีดา จังหวัดนครราชสีมา. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า.* 35(1), 25-34.

นิวัฒ เสนาะเมือง. (2553). *เห็ดป่าเมืองไทย: ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์.* กรุงเทพฯ: หจก. ยูนิเวอร์แซล กราฟฟิก & เทรดดิ้ง.

เพียงพิมพ์ ชิดบุรี, วรัญญา ธาราเวชรักษ์ และ ลมัย ปันตา. 2557. การสำรวจเห็ดป่าที่นำมาบริโภคในจังหวัดลำปาง. แก่นเกษตร. 42(3): 825-828.

วาลุกา พลายงาม. (2015). *เห็ดทางการแพทย์...อาหารฟังก์ชันเสริมภูมิคุ้มกัน.* กรุงเทพฯ: ไทยเนอร์ซิงไทม์.

Adam M.R. and M.O. Moss. (1995). *Food microbiology*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.

Berovic, M., Habijanic J., Zore. I., , Wraber B., Hobzar D., Boh B., and Pohleven F. (2003). Submerged cultivation of *Ganoderma lucidum* biomass and immunostimulatory effects of fungal polysaccharides. *J. Biotechnol.*103, 77-86.

Chen H., Zhang J., Hao H., Feng Z., Chen M., Wang H., and Yecorresponding M. (2017). Hydrogen-rich water increases postharvest quality by enhancing antioxidant capacity in *Hypsizygus marmoreus. AMB Express*. 7, 221.

Dinic´ M., Pecikoza U., Djokic´ J., Stepanovic´-Petrovic´ R., Milenkovic´ M., Stevanovic´ M., Filipovic´ N., Begovic´ J., Golic´ N., and Lukic´ J. (2018) Exopolysaccharide produced by probiotic strain *Lactobacillus paraplantarum* BGCG11 reduces inflammatory hyperalgesia in rats. *Front. Pharmacol*. 9: 1-12.

Hao L.-M., Xing X.-H., Li Z., Zhang J.-C., Sun J.-X., Jia S.R., Qiao C.S., and Wu T.-Y. (2010), Optimization of effect factors for mycelial growth and exopoly- saccharide production by Schizophyllum commune. *Appl. Biochem. Biotechnol*. 160, 621 – 631.

Kim, D.H., B.K. Yang, and S.C. Jeong. (2001). Production of a hypoglycemic, extracellular polysaccharide from the submerged culture of the mushroom *Phellinus linteus*. *Biotechnology Letters*. 23, 513-517.

Liu J.L., Zheng S.L., Fan Q.J., Yuan J.C., Yang S.M., Kong F.L. (2015) Optimisation of high-pressure ultrasonic-assisted extraction and antioxidant capacity of polysaccharides from the rhizome of *Ligusticum chuanxiong*. *Int. J. Biol. Macromol*. 76, 80–85

Manna, D.K., Nandi, A.K., Pattanayak, M., Maity, P., Tripathy, S., Mandal, A.K., Roy, S., Tripathy, S.S., Gupta, N., and Islam, S.S. (2015). A water soluble β-glucan of an edible mushroom *Termitomyces heimii*: Structural and biological investigation. *Carbohydr. Polym*. 134, 375–384.

Osiǹska-Jaroszuk M., Magdalena J., Magdalena M., Adriana B., Tomasz P.R., Grzegorz J., Jerzy W., Jolanta P., Anna J., and Martyna K.. (2014). Exopolysaccharide from *Ganoderma applanatum* as a promising bioactive compound with cytostatic and antibacterial properties. *Biomed Res Int*. 2014, 743812.

Ozlem, A. (2015). Systems biology of microbial exopolysaccharides production. *Front. Bioeng. Biotechnol*. 3, 1-6.

Pohleven J., Korošec T., and Gregori A. (2016). *Medicinal Mushrooms*. Slovenia: MycoMedica.

Sajna, K.V., Sukumaran, R.K., Jayamurthy, H., Reddy, K.K., Kanjilal, S., Prasad, R.B.N., and Pandeya, A. (2013). Studies on biosurfactants from *Pseudozyma* sp. NII08165 and their potential application as laundry detergent additives. *Biochem. Eng. J*. 78, 85-92.

Wan-Mohtar, W.A.A.Q. I., Kadir, S.A., Saari, N. (2016). The morphology of *Ganoderma lucidum* mycelium in a repeated-batch fermentation for exopolysaccharide production, *Biotechnol*. 11, 2–11.

Wang, X., Yang F., and Bodman S.B. (2012). The genetic and structural basis of two distinct terminal side branch residues in stewartan and amylovoran exopolysaccharides and their potential role in host adaptation. *Mol. Microbiol*. 83, 195–207.

Andrews, J.M., (2009). BSAC standardized disc susceptibility testing method (version 8). *J. Antimicrob. Chemother*. 64, 454–489

Zhao, H., Lib J., Zhang J., Wang X., Hao L., and Jia L. (2017). Purification, in vitro antioxidant and in vivo anti-aging activities of exopolysaccharides by *Agrocybe cylindracea*. *Int. J. Biol Macromol.* 102, 351–357.

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับค่ากัมมันตภาพทางชีวภาพเชิงสามมิติ และการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้งของสารอนุพันธ์ Pyrrolyl Benzohydrazide และ Pyrrolyl Benzamide เพื่อการยับยั้งเชื้อวัณโรค

อิสราภรณ์ เสียงล้ำ[1] นฤดล ภูศรี[1] ชญาณิลห์ หาญวลินโรน์[1] ฑิมพิกา พรพรม[1] กัมปนาท ฉายจรัส[1] กัลย์ชิญาภัท อริยะเชาว์กุล[2] พฤทธิ์ คำศรี[3] อรดี พันกว้าง[3] สุภา หารหนองบัว[4] พัชรีนาถ ทรัพย์อากรณ์[4] คมสันต์ สุทธิสินทอง[5] และ พรพรรณ พึ่งโพธิ์ [1*]

[1]ภาควิชาเคมี สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สาขาสาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3]ภาควิชาเคมี สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

[4]ภาควิชาเคมี สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[5] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)

[*]E-mail : pornpan_ubu@yahoo.com

บทคัดย่อ

เชื้อ *Mycobacterium tuberculosis* (*M. tuberculosis*) เป็นสาเหตุหลักของวัณโรค (TB) โดย InhA เป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Mycobacterium tuberculosis* งานนี้ศึกษา 3D QSAR และศึกษาอันตรกิริยาด้วยระเบียบวิธีโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง เพื่อศึกษาความต้องการทางโครงสร้าง รูปแบบการจับและอันตรกิริยาที่สำคัญของสารอนุพันธ์ benzohydrazide pyrrolyl และ pyrrolyl benzamide ในโพรงการจับ InhA จากผลศึกษาแสดงอันตรกิริยาแบบพันธะไฮโดรเจนระหว่าง Gly96 และ Met161 กับสารหมายเลข 18 ยังมีการเกิดอันตรกิริยาแบบพันธะไพ-ไพ ระหว่างวงอะโรมาติก Tyr158 และไพ–แคทไอออน เกิดอันตรกิริยาแบบระหว่างวงอะโรมาติกกับอะตอมไฮโดรเจนของ Phe149 นอกจากนี้ยังพบว่ามีอันตรกิริยาแบบไฮโดรโฟบิกระหว่างสารหมายเลข18 23 และ 32 กับ Gly96, Phe97, Ala157, Tyr158, Met161, Ala198, Val203 และ Ile215 ข้อมูลสำคัญของอันตรกิริยาระหว่างสารยับยั้งกับเอนไซม์ และความต้องการทางโครงสร้างที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสำคัญในการออกแบบและพัฒนายาตัวใหม่เพื่อใช้ในการต้านเชื้อวัณโรค

คำสำคัญ : เชื้อวัณโรค 3D QSAR การคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง InhA

Investigation of 3D- Quantitative Structure Activity Relationship and Molecular Docking Calculations of Pyrrolyl Benzohydrazide and Pyrrolyl Benzamide Derivatives as Anti-Tuberculosis Agents

Issaraporn Saenglum[1] Naruedon Phusi[1] Chayanin Hanwarinroj[1] Thimpika Pornprom[1] Kampanart Chayajarus[1] Kanchiyaphat Ariyachaokun[2] Pharit Kamsri[3] Auradee Punkvang[3] Patchreenart Saparpakorn[4] Supa Hannongbua[4] Khomson Suttisintong[5] and Pornpan Pungpo[1]*

[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

[2]Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

[3]Division of Chemistry, Faculty of Science, Nakhon Phanom University

[4]Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University

[5]National Nanotechnology Center, NSTDA

*E-mail: pornpan_ubu@yahoo.com

Abstract

Mycobacterium tuberculosis (*M. tuberculosis*) is the causative agent of human tuberculosis (TB) and remains a major public menace. InhA is an enzyme which is important for the growth of bacteria *Mycobacterium tuberculosis*. This work 3D QSAR and molecular docking calculations were investigated. To study structural requirements, the binding mode and the crucial interactions of novel pyrrolyl benzohydrazide and pyrrolyl benzamide derivatives in InhA binding site. The obtained results showed hydrogen bond interactions between Gly96 and Met161 with compound 18, Pi-Pi interactions between aromatic ring Tyr158 and Pi-cation interactions

between aromatic ring with hydrogen atom of Phe149. Moreover, hydrophobic interactions between compound 18, compound 23 and compound 32 and Gly96, Phe97, Ala157, Tyr158, Met161, Ala198, Val203 and Ile215 residues were found. These information on the structure interactions between enzyme inhibitors with enzymes and structural requirements are valuable and important for the design process and the development of new drugs as anti-tuberculosis agents.

Keywords : *Mycobacterium tuberculosis*, 3D QSAR, molecular docking calculations, InhA

บทนำ

วัณโรคเป็นโรคติดต่อที่เป็นสาเหตุหลักของการตายของประชากรทั่วโลกในปัจจุบัน และมีจำนวนของผู้ป่วยรายใหม่ที่เพิ่มขึ้นทุกปี เป็นปัญหาหลักที่สำคัญในประเทศที่กำลังพัฒนา ด้อยพัฒนาและประเทศที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง (Salla A Munro 2007) เอนไซม์ Enoyl-ACP reductase (InhA) เป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *M. tuberculosis* เนื่องจากเอนไซม์นี้เป็นหนึ่งในเอนไซม์ที่ทำหน้าในการสังเคราะห์กรดไขมัน mycolic acid ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียวัณโรคก่อโรค (Drugs., 2004) นอกจากนี้ยังเป็นเป้าหมายที่สำคัญในการออกฤทธิ์ยับยั้งโรควัณโรคของตัวยาหลักที่ใช้ในการรักษาคือยาไอโซไนอาซิด แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการรักษาโรควัณโรคของตัวยาไอโซไนอาซิดจะลดลง เนื่องจากการกลายพันธุ์ของเอนไซม์ KatG ที่ทำหน้าที่กระตุ้นตัวยาไอโซไนอาซิดให้อยู่ในรูปอนุมูลอิสระเพื่อจับกับ NAD^+ โคแฟกเตอร์ให้อยู่ในรูป adduct ที่จะสามารถยับยั้งเอนไซม์ InhA ได้ ซึ่งเป็นการยับยั้งด้วยวิธีทางอ้อม จากงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการศึกษาสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide และออกแบบเพื่อทำการสังเคราะห์พบว่าให้ผลดีในการยับยั้งโรควัณโรคในทางตรงโดยไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยเอนไซม์ KatG (Joshi, Dixit, et al., 2017) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความต้องการที่จะนำสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide มาศึกษาเพื่อใช้ออกแบบและเป็นตัวต้นแบบในการยับยั้งเชื้อวัณโรคและเอนไซม์ InhA

วิธีการวิจัย

โครงสร้างเริ่มต้นของสารยับยั้งเอนไซม์ InhA ทั้งหมดได้จากการสร้างโดยใช้โปรแกรมโมเลกุลาร์โมเดลลิ่ง Gausview จากนั้นทำการคำนวณปรับโครงสร้างที่เสถียรที่สุด (full geometrical optimization) ด้วยระเบียบวิธี *Ab initio* M062X/6-31G* (Jena, Waghmare, Kashikar, Kumar, & Harinath, 2014) เมื่อทำการคำนวณในขั้นตอนนี้เสร็จแล้ว จะได้โครงสร้างที่เสถียรแต่ละโมเลกุล จากนั้นนำโครงสร้างเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณด้วยวิธีการโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งแบบสามมิติ (3D-QSAR) โดยโครงสร้างของสารยับยั้งเอนไซม์ InhA แสดงดังตารางที่ 1

การศึกษาความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างสมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลกับค่ากัมตภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพแบบสามมิติ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับกัมมันตภาพในการยับยั้งแบบ 3D-QSAR ใช้วิธีวิเคราะห์เปรียบเทียบดัชนีความเหมือนเชิงโมเลกุล (Comparative Similarity Index Analysis, CoMSIA) (Ahamad, Islam, Ahmad, Dwivedi, & Hassan, 2019) ซึ่งเป็นวิธีด้าน Computer-Aided Molecular Design ขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนั้นอาจแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การวางโมเลกุล (Alignment rule)

ในวิธีการวิเคราะห์นั้นจะวางโมเลกุลทุก ๆ โครงสร้างภายในกล่องซึ่งมีขนาดที่กำหนด ทั้งนี้ขั้นตอนนี้จัดว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด โดยในการศึกษานี้จะใช้วิธีการวางโมเลกุลด้วยวิธีการนำเอารูปแบบการจับของสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide โดยใช้วิธีการวางตัวซ้อนทับของโพรงการจับของตัวจับ

2. การวิเคราะห์โดยวิธีคอมเซีย (CoMSIA Analysis)

โมเลกุลที่ได้วางทับไปในขั้นตอนที่ 1 และจะถูกสร้างบริเวณใน 3 มิติ รอบ ๆ โมเลกุลเป็นโพรงผลึกลูกบาศก์ซึ่งจะทำให้ได้จุดตัด (grid point) รอบโมเลกุลจำนวนมาก ซึ่งจุดตัดดังกล่าวนี้จะเป็นโพรบอะตอม (probe atom) ซึ่งการวิเคราะห์จะคำนวณอันตรกิริยาระหว่างโพรบอะตอมกับโมเลกุลของตัวยับยั้งคือ อันตรกิริยาสเตอริก อันตรกิริยาอิเล็กโตรสแตติก การให้โปรตอน (H donor) และการรับโปรตอน (H acceptor) จากนั้นค่าอันตรกิริยาดังกล่าวจะถูกบันทึกไว้ในตาราง เพื่อนำไปวิเคราะห์โดยระเบียบวิธี cross-validation และการถดถอยพหุคุณแบบพาร์เชียล (Partial Least Squares)

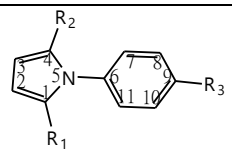
3. การแปรผล (Interpretation)

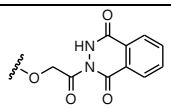
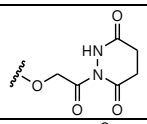
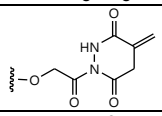
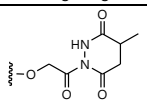
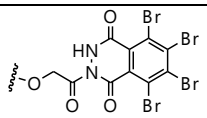
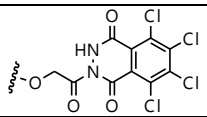
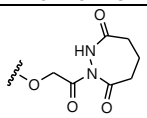
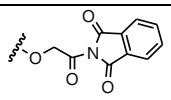
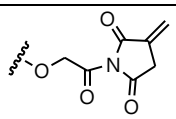
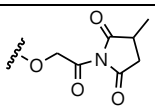
การประเมินผลว่าแบบจำลองใดที่ให้ผลการทำนายค่ากัมมันตภาพดีที่สุดนั้นจะอาศัยค่าความสามารถในการทำนาย (Predictive ability, q^2) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาโดยค่า q^2 ควรมีค่าสูงกว่า 0.6 และการแปรผลจะแสดงในรูปของภาพคอนทัวร์ของสัมประสิทธิ์ (coefficient contour map)

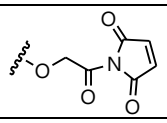
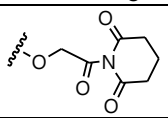
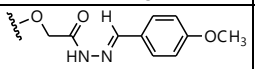
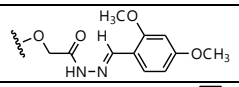
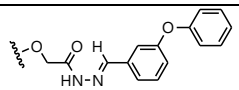
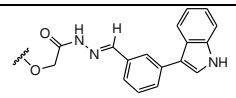
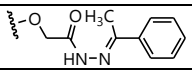
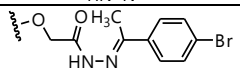
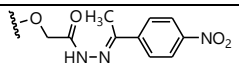
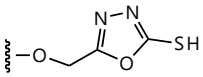
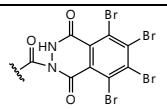
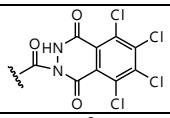
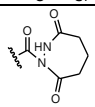
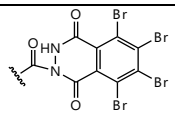
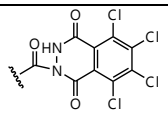
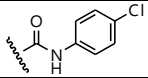
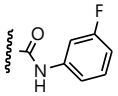
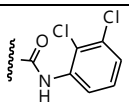
การศึกษาด้วยระเบียบวิธีโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง

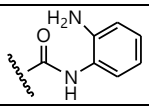
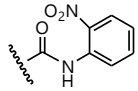
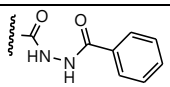
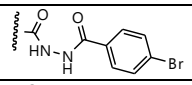
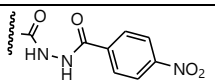
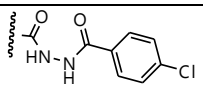
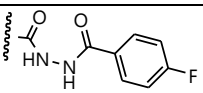
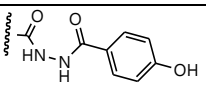
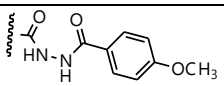
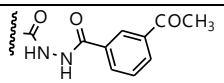
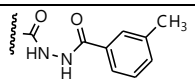
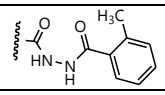
โครงสร้างผลึก (X-ray crystallography) ของ InhA รหัส 2X23 ถูกนำมาใช้ศึกษาอันตริกิริยาที่สำคัญในโพรงการจับ InhA ของสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นวิเคราะห์อันตรกิริยาที่สำคัญ

ตารางที่ 1 แสดงโครงสร้างและค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งของสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide (Joshi et al., 2018; Joshi, Dixit, et al., 2017; Joshi, More, et al., 2017)



สาร	R1	R2	R3	MIC (μ/mL)	ค่ากัมมตภาพในการยับยั้ง
1*	H	H		1.6	5.35
2	H	H		1.6	5.29
3	H	H		1.6	5.31
4	H	H		1.6	5.31
5	H	H		50	4.13
6*	H	H		50	4.00
7	H	H		1.6	5.31
8	H	H		1.6	5.34
9	H	H		1.6	5.29
10	H	H		50	3.80

11	H	H		50	3.77
12	H	H		1.6	5.29
13	H	H		1.6	5.34
14	H	H		1.6	5.37
15	H	H		3.12	5.12
16	H	H		3.12	5.14
17	H	H		1.6	5.32
18	H	H		1.6	5.41
19	H	H		1.6	5.37
20*	H	H		1.6	5.23
21	H	H		6.25	5.01
22	H	H		6.25	4.88
23	H	H		3.12	4.98
24	CH_3	CH_3		3.12	5.34
25	CH_3	CH_3		3.12	5.20
26*	CH_3	CH_3		6.25	4.72
27	H	H		6.25	4.81
28	H	H		3.12	4.95
29	H	H		3.12	5.03

30	H	H		3.12	4.95
31	H	H		3.12	4.99
32*	H	H		50	3.79
33	H	H		3.125	5.09
34	H	H		12.5	4.45
35	H	H		6.25	4.74
36	H	H		12.5	4.41
37	H	H		12.5	4.41
38	H	H		12.5	4.43
39	H	H		12.5	4.44
40	H	H		12.5	4.41
41*	H	H		12.5	4.41

หมายเหตุ :* test set

ผลการวิจัย

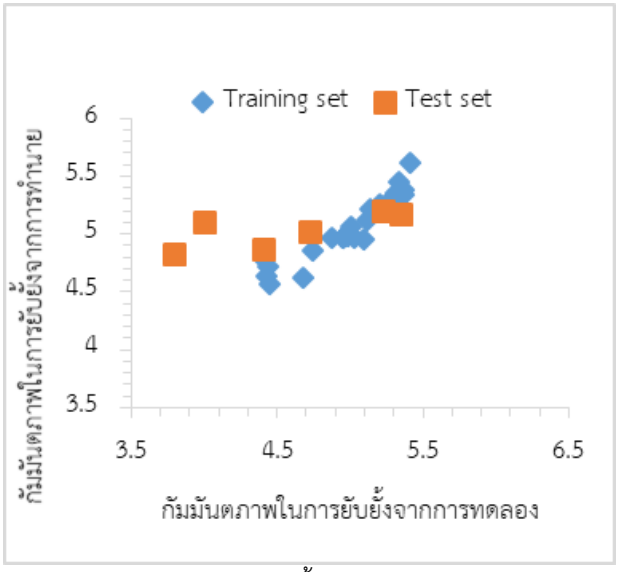
การศึกษาความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างสมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลกับค่ากัมตภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพแบบสามมิติ

ผลการศึกษา CoMSIA model ของสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide จำนวน 41 โครงสร้าง โดยเป็น training set จำนวน 35 โครงสร้าง test set 6 โครงสร้าง และ outlier 3 โครงสร้าง ดังตารางที่ 2 พบว่าแบบจำลอง CoMSIA ที่ดีที่สุด คือ แบบจำลองที่มีค่า q^2 และค่า r^2 เท่ากับ 0.722 และ 0.959 ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราส่วนการมีส่วนร่วมของ สนามสเตอริก สนามอิเล็กโตรสแตติก สนามไฮโดรโฟบิก และสนามการให้โปรตอน คือ 4.09%, 12.06%, 11.46% และ 10.97% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการศึกษาของแบบจำลอง CoMSIA model ที่ได้นี้ สามารถอธิบายความต้องการทางโครงสร้างของสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide ได้ และเมื่อทำการทดสอบการทำนายค่ากัมมตภาพในการยับยั้งที่ได้จาก CoMSIA model พบว่ามีความน่าเชื่อถือดังแสดงในรูปที่ 1(Ahamad et al., 2019)

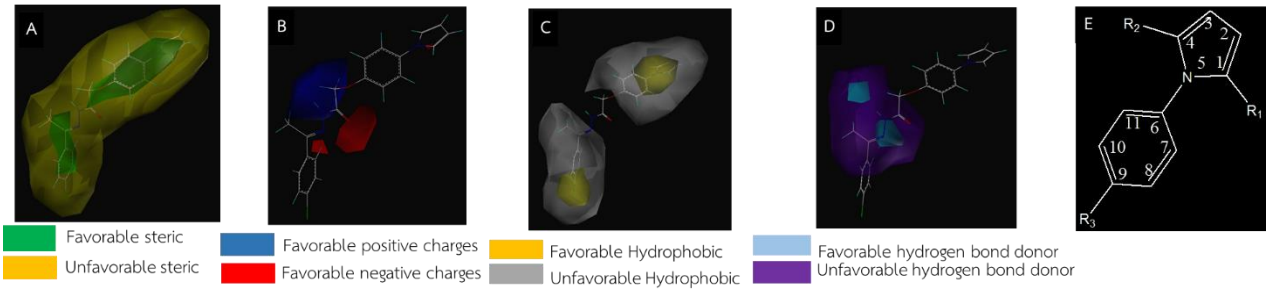
ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติของการศึกษาแบบจำลอง CoMSIA model

Field type	q^2	r^2	N	S	SSE	F	อัตราการมีส่วนร่วม
S/E/H/HD	0.722	0.959	5	0.198	0.077	98.701	4.09%/ 12.06%/ 11.46%/ 10.97%

หมายเหตุ : q^2 คือ Predictive ability; N คือ optimum number of components; s คือstandard error of prediction; SEE คือ standard error of estimate; Fคือ F-test value; S คือ steric field; E คือ electrostatic field; H คือ hydrophobic field; HD คือhydrogen donor field; HA คือ hydrogen acceptor field



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งของสารอนุพันธ์สารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide ที่ได้จากการทดลองและทำนายโดยแบบจำลอง CoMSIA



รูปที่ 2 แผนภาพคอนทัวร์สนามสเตอริก (A) สนามอิเล็กโตรสแตติก (B) สนามไฮโดรโฟบิก (C) สนามการให้โปรตอน (D) ที่ได้จากแบบจำลอง CoMSIA ที่ดีที่สุด และ โครงสร้างทั่วไปของสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide

Model ที่ดีที่สุดนำมาทำนายแผนภาพคอนทัวร์ของสารหมายเลข 18 เนื่องจากมีค่ากัมมตภาพในการยับยั้งสูงสุด รูปที่ 2 แผนภาพคอนทัวร์สามารถแปรผลได้เพียงแผนภาพคอนทัวร์สนามอิเล็กโตรสแตติก ส่วนแผนภาพคอนทัวร์สนามสเตอริก แผนภาพคอนทัวร์สนามไฮโดรโฟบิก และ แผนภาพคอนทัวร์สนามการให้โปรตอน ไม่สามารถนำมาแปรผลได้เนื่องจากมีการซ้อนทับกันของสีคอนทัวร์

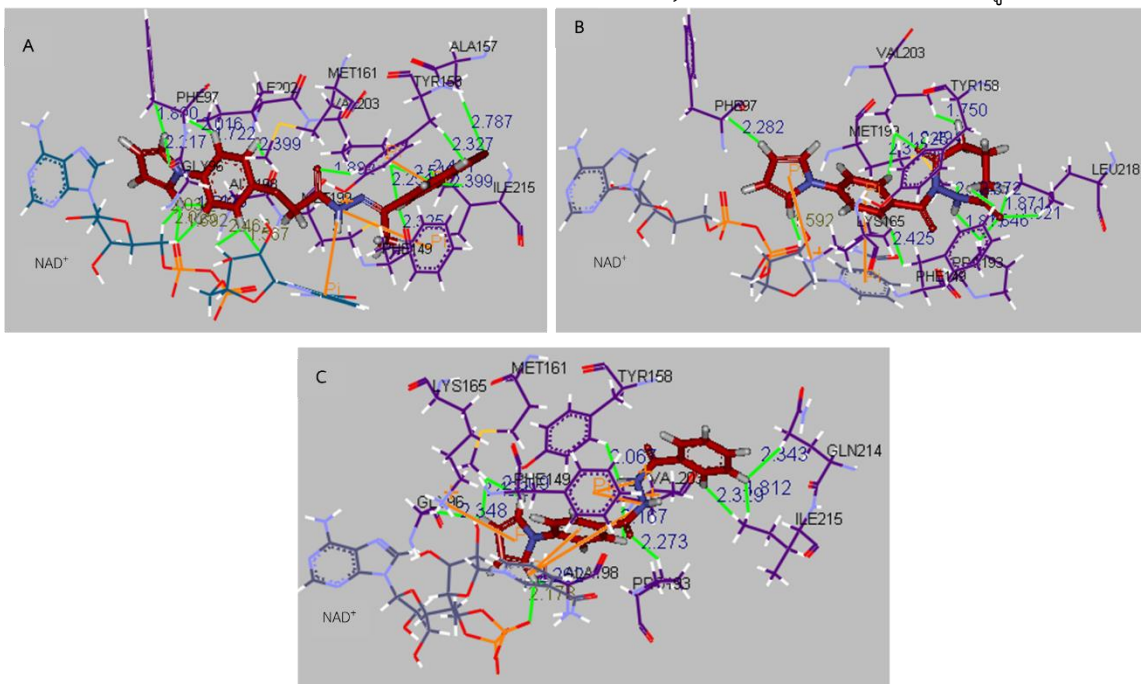
พิจารณา R1 ซึ่งอยู่ใกล้ C1 โดยบริเวณC1 อยู่ใกล้คอนทัวร์สีแดงขนาดเล็กแสดงว่าหมู่แทนที่ R1 จะต้องเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนจึงจะทำให้ C1 มีความเป็น negative charge หมู่ให้อิเล็กตรอนได้แก่ H, CH_3, CH_2CH_3 เป็นต้น

พิจารณา R3 คอนทัวร์สีน้ำเงินขนาดใหญ่แสดงว่าบริเวณตรงนั้นต้องเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนจึงมีความเป็นpositive charge หมู่ให้อิเล็กตรอนได้แก่ H, CH_3, CH_2CH_3 เป็นต้น คอนทัวร์สีแดงขนาดใหญ่แสดงว่าบริเวณตรงนั้นต้องเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนแสดงว่าบริเวณนั้นชอบความเป็น negative charge หมู่ดึงอิเล็กตรอนได้แก่ O และ S เป็นต้น และคอนทัวร์สีแดงขนาดเล็กแสดงว่าบริเวณตรงนั้นต้องเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนแสดงว่าบริเวณนั้นชอบความเป็น negative charge หมู่ดึงอิเล็กตรอนได้แก่ F, Cl และ Br เป็นต้น

การศึกษาอันตรกิริยาด้วยระเบียบวิธีโมเลคูลาร์ด็อกกิ้ง

ผลของอันตรกิริยาสารหมายเลข 18, 23 และ 32 ในโพรงการจับของ InhA (Schroeder, Basso, Santos, & de Souza, 2005; Sink et al., 2015) พบว่าสารหมายเลข 18 นี้เกิดอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟบิกกับกรดอะมิโน Phe97, Ala157, Tyr158, Ala198, Val203 และIle215 มีการเกิดอันตรกิริยาชนิดพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโน Gly96 และMet161 เกิดอันตรกิริยาแบบพันธะไพ-ไพ และไพ – แคทไอออน กับกรดอะมิโน Tyr158 และ Phe149 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเกิดอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟบิกกับไพ – แคทไอออนกับโคแฟกเตอร์ ส่วนสารหมายเลข 23 เกิดอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟบิกกับกรดอะมิโน Phe97, Phe149,

Tyr158, Ala198 และVal203 มีการเกิดอันตรกิริยาชนิดพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโน Tyr158, Pro193 และ Leu218 เกิดอันตรกิริยาแบบพันธะไพ-ไพ และไพ – แคทไอออน กับกรดอะมิโน โคแฟกเตอร์ และ Lys165 ตามลำดับ(Sink et al., 2015) นอกจากนี้ยังเกิดอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟบิกกับโคแฟกเตอร์ และสารหมายเลข 32 เกิดอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟบิกกับกรดอะมิโน Gly96, Tyr158, Met161, Ala198, Val203 และIle215 มีการเกิดอันตรกิริยาชนิดพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโน Pro193 เกิดอันตรกิริยาแบบพันธะไพ-ไพโคแฟกเตอร์ และไพ – แคทไอออนกับกรดอะมิโน Lys165 และโคแฟกเตอร์ แสดงดังรูป 3



รูปที่ 3 ลักษณะการวางตัวในโพรงการจับของเอนไซม์ InhA สารหมายเลข 18 (A) สารหมายเลข 23 (B) และสารหมายเลข 32 (C)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลของแบบจำลอง 3D-QSAR CoMISA พบว่ามีความต้องการทางโครงสร้างคือบริเวณ C1 จะต้องเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนจึงจะทำให้ C1 มีความเป็น negative charge ที่บริเวณ R3 คอนทัวร์สีน้ำเงินขนาดใหญ่ที่หมู่คาร์บอนิลแสดงว่าบริเวณตรงนั้นต้องเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนจึงมีความเป็น positive charge คอนทัวร์สีแดงขนาดใหญ่ที่ตำแหน่งออกซิเจนที่หมู่คาร์บอนิลแสดงว่าบริเวณตรงนั้นต้องเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนแสดงว่าบริเวณนั้นชอบความเป็น negative charge นอกจากนี้ยังเกิดคอนทัวร์สีแดงขนาดเล็กที่ตำแหน่งไฮโดรเจนในบริเวณวงเบนซีน แสดงว่าบริเวณตรงนั้นต้องเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอนแสดงว่าบริเวณนั้นชอบความเป็น negative charge เมื่อนำพิจารณาผลจากการศึกษารูปแบบการจับของสารสารอนุพันธ์ pyrrolyl benzohydrazide และ pyrrolyl benzamide ในโพรง InhA พบว่ามีอันตรกิริยาที่สำคัญได้แก่ ไฮโดรโฟบิก พันธะไฮโดรเจน พันธะไพ-ไพ และไพ – แคทไอออนกับกรดอะมิโนและโคแฟกเตอร์ จากการจำลองแบบและการออกแบบโมเลกุลในการศึกษานี้ช่วยให้เข้าใจความต้องการทางโครงสร้างที่สำคัญในการยับยั้งเป้าหมายของโรควัณโรค ซึ่งในการศึกษานี้จะนำไปสู่การออกแบบสารยับยั้งตัวใหม่ที่ช่วยให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงกว่าสารต้นแบบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนพัฒนานักวิจัยรุ่นกลาง (เมธีวิจัย สกว.) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุน ขอบคุณโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) (SCA-CO-2561-6957TH) สำหรับเงินทุนสนับสนุน ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาอุบลราชธานี ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ(NECTEC) อนุเคราะห์เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการทำปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

1. Ahamad, S., Islam, A., Ahmad, F., Dwivedi, N., & Hassan, M. I. (2019). 2/3D-QSAR, molecular docking and MD simulation studies of FtsZ protein targeting benzimidazoles derivatives. *Comput Biol Chem, 78*, 398-413. doi: 10.1016/j.compbiolchem.2018.12.017
2. Drugs., C. O. I. (2004). Fatty acid biosynthesis as a target for novel antibacterials. 146–153.
3. Jena, L., Waghmare, P., Kashikar, S., Kumar, S., & Harinath, B. C. (2014). Computational approach to understanding the mechanism of action of isoniazid, an anti-TB drug. *Int J Mycobacteriol, 3*(4), 276-282. doi: 10.1016/j.ijmyco.2014.08.003
4. Joshi, S. D., Dixit, S. R., Basha, J., Kulkarni, V. H., Aminabhavi, T. M., Nadagouda, M. N., & Lherbet, C. (2018). Pharmacophore mapping, molecular docking, chemical synthesis of some novel pyrrolyl benzamide derivatives and evaluation of their inhibitory activity against enoyl-ACP reductase (InhA) and Mycobacterium tuberculosis. *Bioorg Chem, 81*, 440-453. doi: 10.1016/j.bioorg.2018.08.035
5. Joshi, S. D., Dixit, S. R., Kulkarni, V. H., Lherbet, C., Nadagouda, M. N., & Aminabhavi, T. M. (2017). Synthesis, biological evaluation and in silico molecular modeling of pyrrolyl benzohydrazide derivatives as enoyl ACP reductase inhibitors. *Eur J Med Chem, 126*, 286-297. doi: 10.1016/j.ejmech.2016.11.032
6. Joshi, S. D., More, U. A., Dixit, S. R., Balmi, S. V., Kulkarni, B. G., Ullagaddi, G., . . . Aminabhavi, T. M. (2017). Chemical synthesis and in silico molecular modeling of novel pyrrolyl benzohydrazide derivatives: Their biological evaluation against enoyl ACP reductase (InhA) and Mycobacterium tuberculosis. *Bioorg Chem, 75*, 181-200. doi: 10.1016/j.bioorg.2017.09.008
7. Salla A Munro , S. A. L., Helen J Smith, Mark E Engel, Atle Fretheim, Jimmy Volmink. (2007). Patient Adherence to Tuberculosis Treatment: A Systematic Review of Qualitative Research. *4*, 1230-1244. doi: 10.1371/journal.pmed.0040238.g001
8. Schroeder, E. K., Basso, L. A., Santos, D. S., & de Souza, O. N. (2005). Molecular dynamics simulation studies of the wild-type, I21V, and I16T mutants of isoniazid-resistant Mycobacterium tuberculosis enoyl reductase (InhA) in complex with NADH: toward the understanding of NADH-InhA different affinities. *Biophys J, 89*(2), 876-884. doi: 10.1529/biophysj.104.053512
9. Sink, R., Sosic, I., Zivec, M., Fernandez-Menendez, R., Turk, S., Pajk, S., . . . Gobec, S. (2015). Design, synthesis, and evaluation of new thiadiazole-based direct inhibitors of enoyl acyl carrier protein reductase (InhA) for the treatment of tuberculosis. *J Med Chem, 58*(2), 613-624. doi: 10.1021/jm501029r

อันตรกิริยาที่สำคัญของสารอนุพันธ์ benzofuran ในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ของเชื้อ *M. tuberculosis* ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง

บัณฑิต คำศรี[1] บงกชวรรณ พาคำวงค์[1] ภาพตะวัน ทองดี[1] นฤดล ภูศรี[1] ชญาณิลห์ หาญวลินโรจน์[1]
กัมปนาท ฉายจรัส[1] พฤทธิ์ คำศรี[2] อรดี พันธ์กว้าง[2] กัญชิญาภัทร อริยะเชาว์กุล[3] พัชรีนารถ ทรัพย์อาภากรณ์[4]
สุภา หารหนองบัว[4] คมสันต์ สุทธิสินทอง[5] และพรพรรณ พึ่งโพธิ์[1] *
[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
[3]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[4]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[5]สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
*E-mail: pornpan_ubu@yahoo.com

บทคัดย่อ

สารอนุพันธ์ benzofuran ซึ่งเป็นสารยับยั้งเอนไซม์ GyrB ของเชื้อ *M. tuberculosis* ที่เป็นสาเหตุในการก่อโรควัณโรค โดยทำการศึกษาทางด้าน structure-based drug design ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง ด้วยโปรแกรม AutoDock 4.2 เพื่อศึกษาการวางตัวของโครงสร้างและการเกิดอันตรกิริยาที่สำคัญในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB จะทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญทางด้านโครงสร้างสารอนุพันธ์ benzofuran และอันตรกิริยาที่สำคัญระหว่างในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB จากการวิจัยพบว่า โมเลกุลหมายเลข 15 มีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ที่ดีสุด ซึ่งมีหมู่แทนที่เป็น Piperidine-1-carboxylate *tert*-butyl ester พบว่าอันตรกิริยาที่มีความสำคัญชนิดพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของกรดอะมิโน Lys108 พบอันตรกิริยาชนิดไพ-แคทไอออนระหว่างวง benzofuran ของโครงสร้างหลักกับอะตอมของกรดอะมิโน Arg82 นอกจากนี้พบอันตรกิริยาชนิดอิเล็กโตรสเตติกกับกรดอะมิโน Glu48, Glu56, Val92, Thr113, Tyr114, Ser126 และ Thr162 และอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟรบิก Val49, Ile84, Pro85, Val99, Glu122 และ Val123 ในบริเวณโพรงการจับเอนไซม์ GyrB จากผลการวางตัวของโครงสร้างและการเกิดอันตรกิริยาสำคัญในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ของสารอนุพันธ์ benzofuran ซึ่งการเปลี่ยนหมู่แทนที่ R มีผลต่อค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ส่งผลทำให้บริเวณโครงสร้างหลักเกิดอันตรกิริยาที่แข็งแรงกับเอนไซม์ GyrB

คำสำคัญ : สารอนุพันธ์ benzofuran เชื้อ *M. tuberculosis* เอนไซม์ GyrB ระเบียบวิธีการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง

The Crucial Interactions of Benzofuran Derivatives as *M. tuberculosis* GyrB Inhibitors by Using Molecular Docking Calculations

Bandit Khamsri[1] Bongkochawan Pakamwong[1] Paptawan Thongdee[1] Naruedon Phusi[1] Chayanin Hanwarinroj[1]
Kampanart Chayajarus[1] Pharit Kamsri[2] Auradee Punkvang[2] Kanchiyaphat Ariyachaokun[3] Patchreenart Saparpakorn[4]
Supa Hannongbua[4] Khomson Suttisintong[5] Pornpan Pungpo[1]*
[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[2]Division of Chemistry, Faculty of Science, Nakhon Phanom University
[3]Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[4]Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University
[5]National Science and Technology Development Agency, NSTDA
*E-mail: pornpan_ubu@yahoo.com

Abstract

The benzofuran derivatives used as *M. tuberculosis* GyrB inhibitor that is the causative agent of tuberculosis. The aim of work structure was structure-based drug design by using molecular docking calculation method with AutoDock 4.2 program for elucidation of the crucial interactions. The results of compound 15 (highest active compound) showed that R substituent is piperidine-1-carboxylate *tert*-butyl ester. The crucial interactions of benzofuran derivatives in GyrB binding pocket, hydrogen bonding interactions between with Lys108 residue and pi-cation interactions between aromatic ring with Arg182 residue were found. In addition,

electrostatic interactions between ligands and Glu48, Glu56, Val92, Thr113, Tyr114, Ser126 and Thr169 residues were found. Hydrophobic interactions between ligand with Val49, Ile84, Pro85, Val99, Glu122 and Val123 residues were found. Therefore, the R substituents were affected for crucial interactions of benzofuran derivatives to enhance GyrB activity.

Keywords : Benzofuran Derivatives, *M. tuberculosis*, GyrB, Molecular Docking Calculations

บทนำ

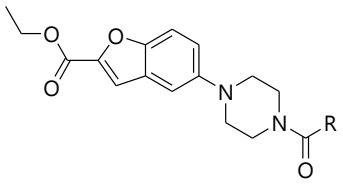
วัณโรค (Tuberculosis) เป็นโรคติดเชื้อเรื้อรังที่สำคัญเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *M. tuberculosis* (*Mtb*) ยังคงเป็น 1 ใน 10 สาเหตุหลักของการตายของประชากรทั่วโลก ในปี 2017 องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) พบว่าอัตราของผู้ป่วยด้วยโรควัณโรค 10 ล้านคน และตายด้วยโรควัณโรค 1.6 ล้านคน ซึ่งรวมทั้งคนในกลุ่มผู้ติดเชื้อเอชไอวี 0.3 ล้านคน ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งชี้ให้เห็นว่าวัณโรคยังคงเป็นโรคติดเชื้อในมนุษย์ที่เป็นสาเหตุหลักของการตายของประชากรโลกทั้งยังมีการแพร่ระบาดของโรควัณโรคในกลุ่มผู้ติดเชื้อเอชไอวีอย่างรวดเร็ว การพัฒนายารักษาโรควัณโรคแบ่งออกเป็นกลุ่ม First-line drug เช่น isoniazid rifampicin pyrazinamide ethambutol และยาในกลุ่ม Second-line drug ซึ่งยากลุ่มนี้ใช้ร่วมกับยาในกลุ่ม First-line drug เช่น fluoroquinolone levofloxacin moxifloxacin gatifloxacin ถึงแม้จะมีการพัฒนายารักษาโรควัณโรค แต่มีปัญหาการดื้อยาหลายขนานของวัณโรคและดื้อยารุนแรงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ตัวยาที่มีอยู่ไม่สามารถใช้ในการรักษาวิธีมาตรฐานได้อีก ส่งผลให้ผู้ป่วยวัณโรคไม่ตอบสนองต่อยาหลักหลายรายการที่ใช้รักษาอยู่ ซึ่งการดื้อยาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Multi drug resistant-tuberculosis (MDR-TB) ซึ่งเกิดการดื้อยาในกลุ่ม First-line drug เช่น isoniazid และ Extensively drug resistant-tuberculosis (XDR-TB) ซึ่งเกิดการดื้อยาในกลุ่ม First-line drug และ Second-line

เอนไซม์ DNA gyrase หรือ Topoisomerase มีลักษณะเป็น Tetramer (A_2B_2) ได้แก่ GyrA และ GyrB เป็นเอนไซม์ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่จำลองดีเอ็นเอ มีหน้าที่คลายปมเหนือจุดแยก โดยการตัด DNA สายใดสายหนึ่งออก เพื่อให้คลายเกลียวได้แล้วจึงต่อกลับใหม่ (Cole, S.T. และคณะ, 1998, Aubry, A. และคณะ, 2006, Champoux, J. และคณะ, 2001) GyrA เป็นเอนไซม์เป้าหมายของยากลุ่ม fluoroquinolone ซึ่งเกิดปัญหาการดื้อยา ดังนั้นจึงมีการพัฒนายา novobiocin โดยเป้าหมายเอนไซม์ GyrB แต่ได้มีการนำ novobiocin ออกจากตลาด เนื่องจากมีสมบัติทางเภสัชวิทยาที่ต่ำ ดังนั้นเอนไซม์ GyrB จึงเป็นเป้าหมายที่สำคัญต่อการพัฒนายารักษาวัณโรคที่เกิดการดื้อยาให้มีประสิทธิภาพ การวิจัยและพัฒนายาในปัจจุบันอาศัยการศึกษาทางเคมีคอมพิวเตอร์ (computational chemistry) ด้วยระเบียบวิธีการจำลองแบบและการออกแบบโมเลกุลด้วยการคำนวณ (computer-aided molecular design, CAMD) โดยใช้การจำลองโมเลกุลในสามมิติในการอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาในระดับโมเลกุล รวมทั้งมีส่วนช่วยทำนายผลการทดลองบางระบบที่ไม่สามารถศึกษาได้ในทางปฏิบัติ ทำให้สามารถเข้าใจมากขึ้นในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวยาและโมเลกุลเป้าหมายในระดับโมเลกุลของยาต้านโรควัณโรค เพื่อออกแบบสารออกฤทธิ์ตัวใหม่ที่มีศักยภาพสูงขึ้น ในปี 2014, Renuka J. และคณะ ศึกษาสารอนุพันธ์ benzofuran เป็นสารในการยับยั้งเอมไซม์ GyrB โดยทำการทดสอบค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาสารอนุพันธ์ benzofuran โดยทำการศึกษาทางด้าน structure-based drug design ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง เพื่อศึกษาการวางตัวของโครงสร้างและการเกิดอันตรกิริยาสำคัญในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB เปรียบกับผลที่มีการรายงานค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญทางด้านโครงสร้างและอันตรกิริยาที่สำคัญระหว่างในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาสารยับยั้งตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง

วิธีการวิจัย

รวบรวมข้อมูลทางโครงสร้างและค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งของเอนไซม์ GyrB ของสารอนุพันธ์ benzofuran จากการสืบค้นเอกสารบนฐานข้อมูล (Renuka, J. และคณะ, 2014) รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างหลักของสารอนุพันธ์ benzofuran ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหมู่แทนที่ R โดยมีโครงสร้างทั้งหมดจำนวน 26 โครงสร้างและค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งของเอนไซม์ GyrB แสดงดังตารางที่ 1 ทำการสร้างโครงสร้างแล้วปรับโครงสร้างให้เสถียรด้วยการคำนวณทางเคมีควอนตัม M062X/6-31G* โดยใช้โปรแกรม Gaussius 09 การคำนวณด้วยระเบียบวิธีโมเลกุลาร์ด็อกกิ้งทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม AutoDock 4.2 ด้วยสารอนุพันธ์ 6-(3,4-Dimethylphenyl)-3-(4-(3-(4-methylpiperazin-1-yl)propoxy)phenyl)amino)pyrazine-2-carboxamide (PDB code: 4B6C) (Shirude, P. S. และคณะ, 2013) ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB อาศัยค่า root-mean-square deviation

หรือ RMSD เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณ และการเปรียบเทียบโครงสร้างของลิแกนด์จากโครงสร้างเอกซเรย์และโครงสร้างของลิแกนด์จากการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง จากนั้นสารอนุพันธ์ benzofuran ทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีโมเลกุลาร์ด็อกกิ้งในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างทั่วไปของสารอนุพันธ์ benzofuran

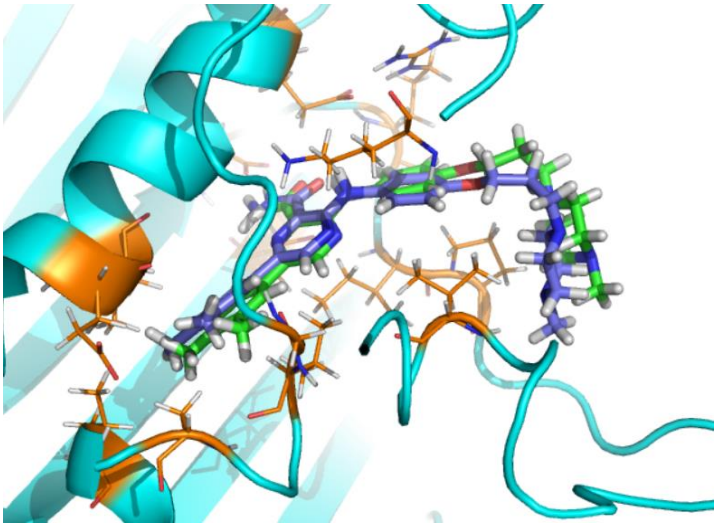
ตารางที่ 1 โครงสร้างและค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ของเชื้อ *M. smegmatis* (*Ms*) และ *M. tuberculosis* ของสารอนุพันธ์ benzofuran

Cpd.	R	*Ms* ATPase assay (IC_{50}, μM)	*Mtb* supercoiling (IC_{50}, μM)
1	2-Phenylacetyl	9.20	6.81
2	4-Chlorophenylacetyl	14.46	8.90
3	4-Fluorophenylacetyl	38.38	26.9
4	2,4,6-Trifluorophenyl)acetyl	12.40	6.10
5	4-Bromophenylacetyl	16.63	5.20
6	4-Methoxyphenylacetyl	10.20	7.40
7	4-Fluorophenylpropanoyl	6.14	3.13
8	2-Phenoxyacetyl	3.97	1.14
9	Naphthalene-1-carbonyl	9.08	3.6
10	Tetrahydro-pyran-4-yl)-benzoyl	6.70	0.91
11	2-Cyclohexylacetyl	36.27	25.20
12	2-Adamantan-1-yl-acetyl	12.87	6.87
13	2,3-Dihydro-1*H*-indole-2-carbony	3.89	0.84
14	Furan-2-carbonyl	37.30	24.40
15	Piperidine-1-carboxylate *tert*-butyl ester	3.20	0.81
16	2-Chloro-pyridine-3-carbonyl	7.94	1.50
17	3-Chloro-pyrazine-2-carbonyl	12.66	3.12
18	3-Trifluoromethyl-pyridine-2-carbonyl	23.40	7.81
19	2,6-Difluoro-benzoyl	6.21	2.90
20	2-Trifluoromethyl-benzoyl	36.90	26.3
21	3-Methoxy-benzoyl	5.01	2.52
22	2,6-Difluoro-4-methoxy-benzoyl	24.21	9.80
23	4-Trifluoromethyl-benzoy	52.10	45.14

24	2,6-dichloro-benzoyl	10.70	3.10
25	2-trifluoromethoxy-benzoyl	29.15	15.61
26	3-methyl-butyryl	41.10	29.10

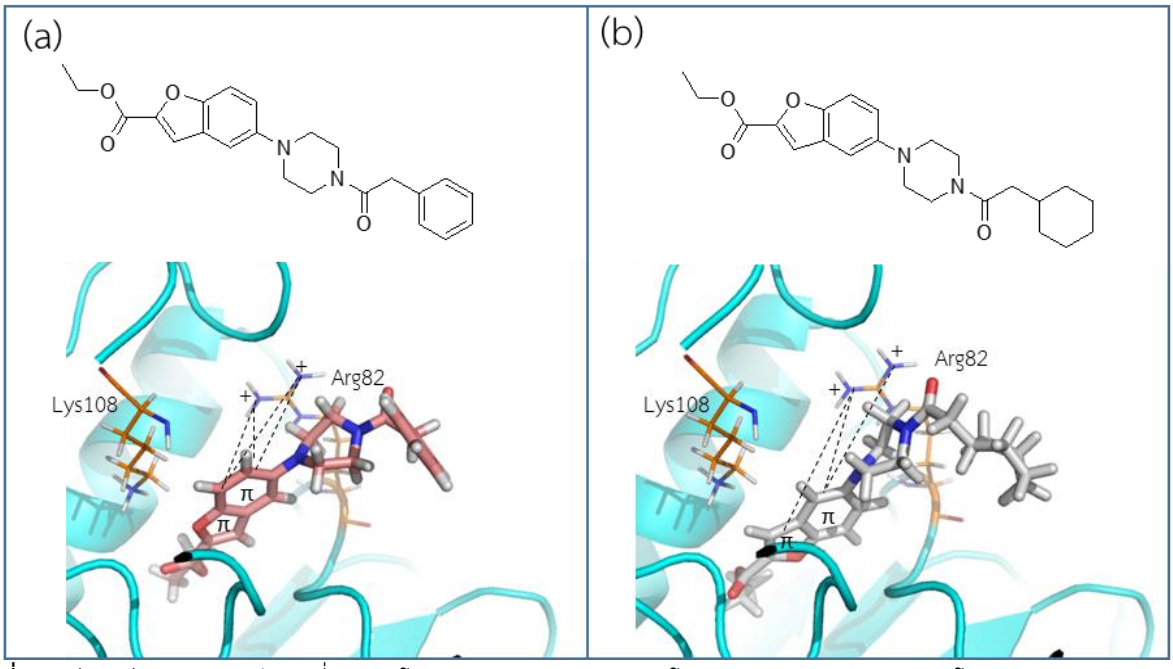
ผลการวิจัย

การทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม AutoDock 4.2 โดยการเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างสารยับยั้งจาก X-ray crystallography และจากการคำนวณของ 6-(3,4-Dimethylphenyl)-3-(4-(3-(4-methylpiperazin-1-yl)propoxy)phenyl)amino)pyrazine-2-carboxamide ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB ค่า RMSD เท่ากับ 1.44 อังสตรอม การเปรียบเทียบโครงสร้างของลิแกนด์จากโครงสร้างเอกซเรย์และโครงสร้างของลิแกนด์จากการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้ง พบว่าเกิดการซ้อนทับตำแหน่งทั้งสองโครงสร้าง มีตำแหน่งการวางตัวใกล้เคียงกัน ซึ่งถึงแสดงความน่าเชื่อถือของโปรแกรม AutoDock 4.2 ที่สามารถยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 2



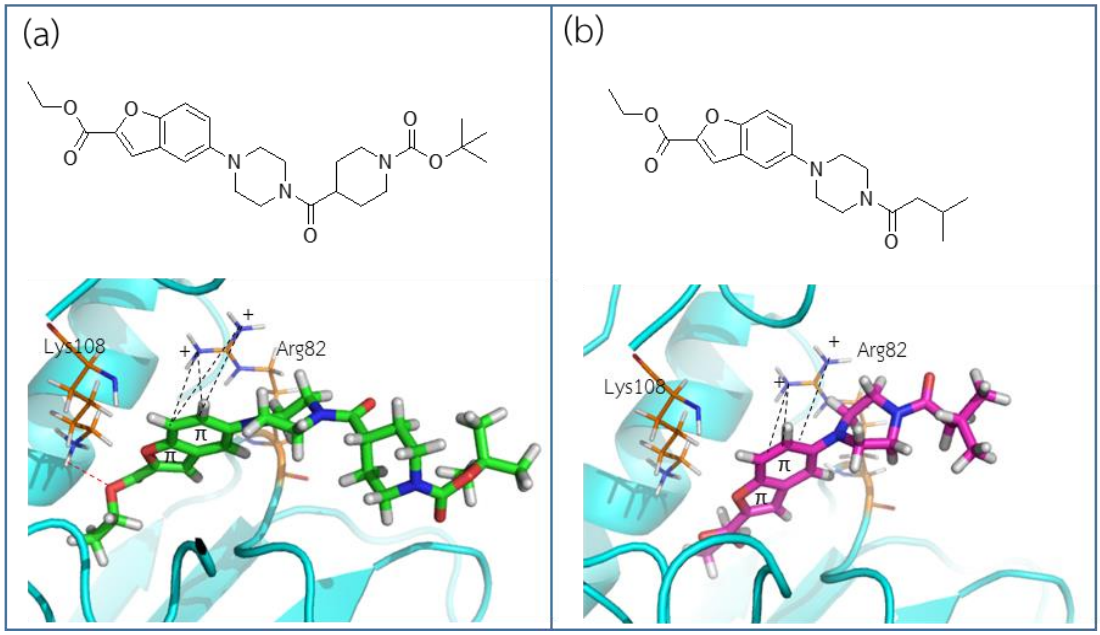
รูปที่ 2 โครงสร้างสารยับยั้งจาก X-ray crystallography (สีเขียว) และโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณ (สีน้ำเงิน) ของสาร 6-(3,4-Dimethylphenyl)-3-(4-(3-(4-methylpiperazin-1-yl)propoxy)phenyl)amino)pyrazine-2-carboxamide ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB

อันตรกิริยาที่สำคัญระหว่างสารยับยั้ง 6-(3,4-Dimethylphenyl)-3-(4-(3-(4-methylpiperazin-1-yl)propoxy)phenyl)amino)pyrazine-2-carboxamide ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB พบอันตรกิริยาที่สำคัญชนิดพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของกรดอะมิโน Asp79 พบอันตรกิริยาชนิดไพ-แคทไอออนที่ตำแหน่งวงอะโรมาติกกับอะตอมของกรดอะมิโน Arg82 และ Lys108 นอกจากนี้พบอันตรกิริยาชนิดอิเล็กโตรสเตติกกับกรดอะมิโน Glu48, Glu56, Val92, Thr113, Tyr114, Ser126 และ Thr169 และอันตรกิริยาชนิดไฮโดรโฟรบิก Val49, Ile84, Pro85, Val99, Glu122 และ Val123 ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB อันตรกิริยาที่สำคัญเหล่านี้ยังพบในบริเวณโพรงการจับระหว่างสารอนุพันธ์ benzofuran กับเอนไซม์ GyrB ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบผลของหมู่แทนที่ R ดังนี้ โมเลกุลหมายเลข 1 ซึ่งมีหมู่แทนที่แบบอะโรมาติกที่ตำแหน่ง R เป็น 2-Phenylacetyl (รูปที่ 3(a)) เปรียบเทียบกับโมเลกุลหมายเลข 11 มีหมู่แทนที่ที่ตำแหน่ง R เป็นอะลิฟาติก (รูปที่ 3(b)) โดยโมเลกุลหมายเลข 1 ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB *Ms* ATPase assay (IC_{50}) เท่ากับ 9.20 μM และ *Mtb* supercoiling (IC_{50}) เท่ากับ 6.81 μM พบอันตรกิริยาชนิดไพ-แคทไอออนที่ตำแหน่งวงอะโรมาติกกับอะตอมของกรดอะมิโน Arg82 เปรียบเทียบกับโมเลกุลหมายเลข 11 ตำแหน่ง R เป็น 2-Cyclohexylacetyl ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB *Ms* ATPase assay (IC_{50}) เท่ากับ 36.27 μM และ *Mtb* supercoiling (IC_{50}) เท่ากับ 25.20 โดยโมเลกุลหมายเลข 11 พบอันตรกิริยาชนิดไพ-แคทไอออนที่ตำแหน่งวงอะโรมาติกกับอะตอมของกรดอะมิโน Arg82 ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าโมเลกุลหมายเลข 1

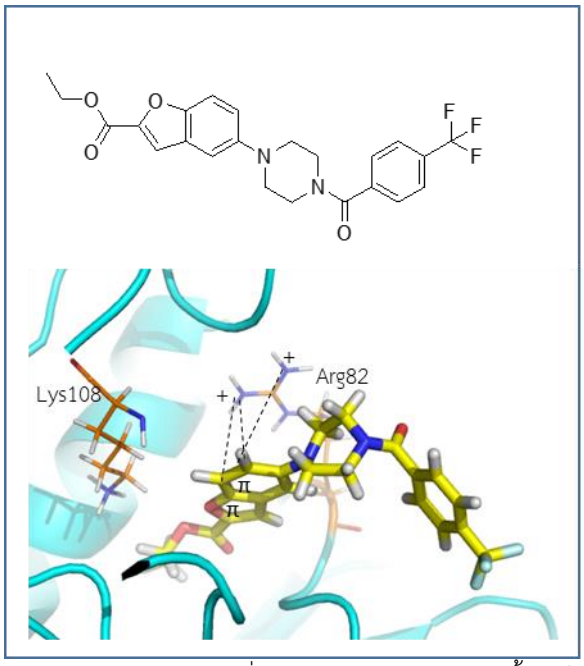


รูปที่ 3 เปรียบเทียบผลของหมู่แทนที่แบบอะโรมาติก และอะลิฟาติก (a) โมเลกุลหมายเลข 1 และ (b) โมเลกุลหมายเลข 11

เปรียบเทียบความเกะกะ โมเลกุลหมายเลข 15 ซึ่งมีหมู่แทนที่ตำแหน่ง R เป็น Piperidine-1-carboxylate *tert*-butyl ester (รูปที่ 4(a)) มีความเกะกะในขณะเดียวกันก็สามารถดึงอิเล็กตรอน เปรียบเทียบกับโมเลกุลหมายเลข 26 มีหมู่แทนที่ที่ตำแหน่ง R เป็น 3-Methyl-butyryl (รูปที่ 4(b)) ซึ่งมีความเกะกะน้อยและไม่มีหมู่ดึงอิเล็กตรอน โดยโมเลกุลหมายเลข 15 ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB *Ms* ATPase assay (IC_{50}) เท่ากับ 3.20 µM และ *Mtb* supercoiling (IC_{50}) เท่ากับ 0.81 µM พบอันตรกิริยาที่สำคัญชนิดพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของกรดอะมิโน Lys108 พบอันตรกิริยาชนิดไพ-แคทไอออนที่ตำแหน่งวงอะโรมาติกกับอะตอมของกรดอะมิโน Arg82 เปรียบเทียบกับโมเลกุลหมายเลข 26 (รูปที่ 4(b) ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB *Ms* ATPase assay (IC_{50}) เท่ากับ 41.10 µM และ *Mtb* supercoiling (IC_{50}) เท่ากับ 29.10 µM พบอันตรกิริยาชนิดไพแคท-ไอออนที่ตำแหน่งวงอะโรมาติกกับอะตอมของกรดอะมิโน Arg82 ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าโมเลกุลหมายเลข 15 ส่งผลให้มีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ที่แย่กว่าโมเลกุลหมายเลข 15



รูปที่ 4 เปรียบเทียบผลของหมู่แทนที่ที่มีความเกะกะ (a) โมเลกุลหมายเลข 15 และ (b) โมเลกุลหมายเลข 26



รูปที่ 5 โมเลกุลหมายเลข 23 โมเลกุลที่มีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ที่ต่ำสุด

เปรียบเทียบโมเลกุลที่มีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ที่ดีสุด และที่ต่ำสุดต่อโครงสร้างในการวางตัวของโมเลกุล โดยโมเลกุลหมายเลข 15 (รูปที่ 4(a)) เป็นโมเลกุลที่มีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ที่ดีสุด เปรียบเทียบกับโมเลกุลหมายเลข 23 (รูปที่ 5) มีหมู่แทนที่ตำแหน่ง R เป็น 4-Trifluoromethyl-benzoy ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB *Ms* ATPase assay (IC_{50}) เท่ากับ 52.10 µM และ *Mtb* supercoiling (IC_{50}) เท่ากับ 45.14 µM มีค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ที่ต่ำที่สุด โดยโมเลกุลหมายเลข 23 พบอันตรกิริยาชนิดไพแคท-ไอออนที่ตำแหน่งวงอะโรมาติกกับอะตอมของกรดอะมิโน Arg82 พบว่ามีความแข็งแรงน้อยกว่าโมเลกุลหมายเลข 15

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม AutoDock 4.2 โดยการเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างสารยับยั้งจาก X-ray crystallography และจากการคำนวณของสาร 6-(3,4-Dimethylphenyl)-3-(4-(3-(4-methylpiperazin-1-yl)propoxy)phenyl)amino)pyrazine-2-carboxamide ในโพรงการจับของเอนไซม์ GyrB พบว่าเกิดการซ้อนทับตำแหน่งทั้งสองโครงสร้าง มีตำแหน่งการวางตัวใกล้เคียงกันทำให้สามารถยืนยันได้ว่าระเบียบวิธีการคำนวณโมเลกุลาร์ด็อกกิ้งที่ใช้มีความน่าเชื่อถือสำหรับการจับของสารยับยั้งเอนไซม์ GyrB ของสารอนุพันธ์ benzofuran พบอันตรกิริยาที่สำคัญชนิด พันธะไฮโดรเจน อันตรกิริยาอิเล็กโตรสเตติก และอันตรกิริยาชนิดไพ-แคทไอออน นอกจากนี้โครงสร้างหลักของสารอนุพันธ์ benzofuran บริเวณวงอะโรมาติกพบอันตรกิริยาชนิดไพแคท-ไอออนกับกรดอะมิโน Arg82 ส่งผลให้บริเวณการจับเกิดความแข็งแรง ซึ่งวงอะโรมาติกมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากหมู่แทนที่ที่ตำแหน่ง R ส่งผลทำให้อันตรกิริยาชนิดไพแคท-ไอออนระหว่างวงอะโรมาติกกับกรดอะมิโน Arg82 มีความแข็งแรงต่างกัน และส่งผลต่อค่าค่ากัมมันตภาพ โดยผลของหมู่แทนที่ที่ตำแหน่ง R เป็นแบบอะโรมาติกส่งผลให้ค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ดีกว่าหมู่แทนที่ที่เป็นอะลิฟาติก หมู่แทนที่ที่ตำแหน่ง R มีความเกะกะน้อยและสามารถดึงอิเล็กตรอนได้ ส่งผลให้ค่ากัมมันตภาพในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ดีกว่าหมู่แทนที่ที่มีความเกะกะมาก จากผลการศึกษาที่ได้ทั้งหมดนี้สามารถให้ข้อมูลทางโครงสร้างที่เป็นประโยชน์ในระดับโมเลกุล ซึ่งเป็นแนวทางนำไปสู่การออกแบบสารต้านวัณโรคที่มีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงในการยับยั้งเอนไซม์ GyrB ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการค้นหาและพัฒนาตัวยาใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ GyrB

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำหรับการสนับสนุนโปรแกรมและเครื่องมือในการคำนวณ

สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข สวรส. (HSRI.60.083), ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC), โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษกแก่ นายบัณฑิต คำศรี (3.C.UB/59/B.1) สำหรับเงินทุนสนับสนุนตลอดการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Aubry, A., Fisher, L. M., Jarlier, V., & Cambau, E. (2006). First functional characterization of a singly expressed bacterial type II topoisomerase: the enzyme from *Mycobacterium tuberculosis*. *Biochem Biophys Res Commun, 348*(1), 158-165. doi: 10.1016/j.bbrc.2006.07.017

Champoux, J. J. (2001). DNA topoisomerases: structure, function, and mechanism. *Annu Rev Biochem, 70*, 369-413. doi: 10.1146/annurev.biochem.70.1.369

Cole, S. T., Brosch, R., Parkhill, J., Garnier, T., Churcher, C., Harris, D., Barrell, B. G. (1998). Deciphering the biology of *Mycobacterium tuberculosis* from the complete genome sequence. *Nature, 393*(6685), 537-544. doi: 10.1038/31159

Renuka, J., Reddy, K. I., Srihari, K., Jeankumar, V. U., Shravan, M., Sridevi, J. P., Sriram, D. (2014). Design, synthesis, biological evaluation of substituted benzofurans as DNA gyraseB inhibitors of *Mycobacterium tuberculosis. Bioorg Med Chem, 22*(17), 4924-4934. doi: 10.1016/j.bmc.2014.06.041

Shirude, P. S., Madhavapeddi, P., Tucker, J. A., Murugan, K., Patil, V., Basavarajappa, H., .Sambandamurthy, V. K. (2013). Aminopyrazinamides: novel and specific GyrB inhibitors that kill replicating and nonreplicating *Mycobacterium tuberculosis*. *ACS Chem Biol, 8*(3), 519-523. doi: 10.1021/cb300510w

การศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดข้าวกล้องงอก

สุดาพร นนท์ศิริ[1] อรวรรณ สิมพันธ์[1] สิรินทิพย์ แสงสว่าง[1] สิริเพ็ญ โหมดม่วง[1] จักราวุธ คงอ่อน[1]
ชญาณิลห์ หาญวลินโรจน์[1] สายสมร ลำลอง[1] มาลี ประจวบสุข[1] กัมปนาท ฉายจรัส[1] ดวงดาว สัตยากูล[1]
จิดาภา แสงสวันต์[2] ปทุมทิพย์ ผลโยญ[2] พรพรรณ พึ่งโพธิ์[1] และ สมจินตนา ทวีพานิชย์[1*]
[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail : noksomjintana@gmail.com (Corresponding author)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดข้าว กล้องและข้าวฮางงอกที่ปลูกในเขตอีสานใต้ทั้งหมด 8 ชนิด จากสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซีเตท และเมทานอล โดยใช้วิธีทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระดังนี้ DPPH Radical Scavenging (DPPH) และ Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) รวมทั้งทำการหาปริมาณฟีนอลิกรวมโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu จากผลการทดลองพบว่า วิธี DPPH พบว่าข้าวที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุดคือสารสกัดเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดงโดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 95.45±0.80 ส่วนการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี FRAP พบว่าข้าวที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ดีที่สุด คือ สารสกัดหยาบเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดง โดยมีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP เท่ากับ 1,111.15±0.97 มิลลิกรัม การศึกษาปริมาณทั้งหมดของสารประกอบฟีนอลิกพบว่าข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดดีที่สุดคือสารสกัดหยาบเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดง โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 408.85±6.97 มิลลิกรัม

คำสำคัญ : ข้าวกล้อง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Determination of antioxidant activities and total phenolic compound of Germinated brown rice

Sudaporn Nonsiri[1] Orawan Simpan[1] Sirintip Sangsawang[1] Siripen Modmaung[1] Jakkrawut Kongon[1] Chayanin Hanwarinroj[1]
Saisamorn Lumlong[1] Malee Prajuabsuk[1] Kampanart Chayajaras[1] Duangdao Sattayakul[1] Jidapa Sangsawan[2]
Patoomthip Polyon[2], Pornpan Pungpo[1] and Somjintana Taveepanich[1*]
[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[2]Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
*E-mail: noksomjintana@gmail.com (Corresponding author)

Abstract

In this study, the antioxidant activities and total phenolic compound of germinated brown rice were evaluated. The eight type rice samples were extracted by hexane, ethyl acetate and methanol. Antioxidant activity using DPPH Radical Scavenging Activity (DPPH assay) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP assay). Total phenolic compound was measured by Folin-Ciocalteu method. The antioxidant activities obtained from DPPH assay clearly indicate that methanol crude extract of Mali Dang germinated brown rice shows highest antioxidant activity with 95.45 %. For the FRAP assay, methanol crude extract of Mali Dang germinated brown rice shows highest value with 1,111.15 mg. Moreover, the results obtained from total phenolic compound of crudes extract by Folin-Ciocalteu reagent. The results show that the methanol crude extraction of Mali Dang germinated brown rice is highest total phenolic content with 408.85 mg.

Keywords : Germinated brown rice, Antioxidant activity

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย เพราะการเกษตรส่วนใหญ่ของประเทศปลูกข้าวเป็นพืชหลัก ปัจจุบันข้าวยังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ข้าวเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ (Family) Poaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza sativa L. เป็นแหล่งอาหารหลักที่ให้คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในการดำรงชีวิตของประชากรทั่วโลก นอกจากนี้ ส่วนต่างๆ ของข้าวก็มีประโยชน์มากมาย เช่น รำข้าว ใช้เป็นอาหารสัตว์ น้ำมันรำข้าว ทำลิปสติก ทำแวกซ์ ยาหม่อง โลชั่นทาผิว ฟางข้าว ใช้ทำปุ๋ย ปลูกเห็ด ทำของเล่น ของใช้ กระดาษ แกลบหรือขี้เถ้า สามารถทำเป็นถ่านกัมมันต์หรือถ่านดูดกลิ่น นำมาผสมกับยาขัดรถ ผสมกับเครื่องปั้นดินเผา เมล็ดข้าวนำมาทำเป็นเครื่องประดับ น้ำข้าวใช้เป็นยาบรรเทาอาการร้อน กระหายน้ำ อาเจียนเป็นเลือด ตาแดง อหิวาตกโรค อาหารไม่ย่อยและแก้พิษ ข้าวจึงเป็นพืชที่มีประโยชน์และมีคุณค่ากับมนุษย์ ไม่ว่าจะใช้เป็นอาหารหลัก ทำขนม ยารักษาโรค ปุ๋ย ของใช้ เครื่องประดับ ของเล่น ฯลฯ จึงถือได้ว่า ข้าวเป็นพืชที่มีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์คู่กับโลกมานับแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (ประพาส, 2552)

ปัจจุบันการบริโภคข้าวเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมจากคนที่รักสุขภาพ จากเดิมจะมีเพียงข้าวกล้องและข้าวซ้อมมือเท่านั้น เมื่อพฤติกรรมการบริโภคข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมมากขึ้น ทำให้มีการปรับปรุงสายพันธุ์ข้าวจนได้พันธุ์ข้าวเพื่อสุขภาพเกิดขึ้นมาใหม่ๆหลายรูปแบบ ข้าวกล้องงอกเป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมเพื่อสุขภาพจากข้าว ข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice) หรือ GABA – rice คือ การนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการงอก ซึ่งปกติข้าวกล้องจะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพอยู่แล้ว เช่น มีไยอาหาร มีวิตามินซี วิตามินอี กาบา (GABA) และกรดหรือแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ช่วยป้องกันโรคและรักษาสมดุลทำให้ระบบต่าง ๆ ในร่างกายทำงานดีขึ้น เมื่อนำข้าวกล้องมาแช่น้ำเพื่อทำให้งอก ทำให้ข้าวกล้องมีสารอาหารโดยเฉพาะ GABA เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นข้าวกล้องงอกที่หุงสุกยังอ่อนนุ่ม รับประทานง่ายกว่าข้าวกล้องทั่วไป (ปวีณารัตน และประภัสสร)

อนุมูลอิสระ (Free radical) คือ โมเลกุลที่ไม่เสถียรและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีผลต่อการทำลายโมเลกุลอื่น ๆ ต่อเนื่องไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระจึงเป็นสารพิษต่อเซลล์ร่างกาย ถ้ามีมากในเซลล์ก็เป็นอันตรายได้โดยจะทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์และอื่น ๆ ในระยะสั้นอนุมูลอิสระมีผลต่อการอักเสบ และการทำลายเนื้อเยื่อ ในระยะยาวที่มีผลต่อความเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์ ปัจจุบันผลการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่า อนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อหลายชนิด โดยเฉพาะโรคมะเร็ง ซึ่งเป็นสาเหตุแห่งการเสียชีวิตอันดับต้นๆ ของคนไทยและคนทั่วโลก (โรงพยาบาลเปาโล, 2561) สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้พวกอนุมูลอิสระก่อตัวขึ้น โดยจะทำการยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสะ และหยุดการก่อตัวใหม่ของอนุมูลอิสระ ช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากตัวอนุมูลอิสระที่ไปทำลายเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย รวมทั้งช่วยกำจัดและแทนที่โมเลกุลที่ถูกทำลาย ถ้าร่างกายของคนเราได้รับประทานอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระประเภทผัก ธัญพืช และผลไม้ และช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ เหล่านี้ได้ (ศรีวัฒนา, 2548)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกทำการศึกษาปริมาณทั้งหมดของสารประกอบฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของข้าวไทย และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวแต่ละชนิดเพื่อทราบถึงคุณประโยชน์ที่มีอยู่ในข้าวเพิ่มเติมค่าทางเศรษฐกิจให้กับข้าวของไทย

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

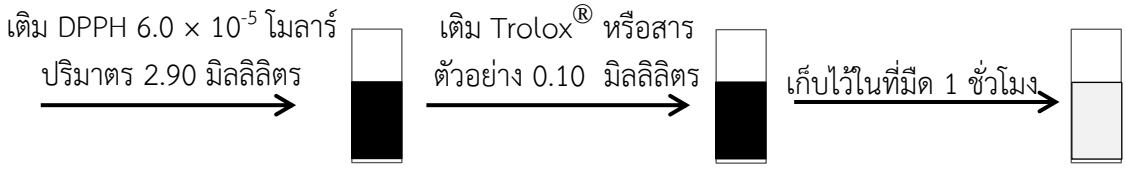
1) นำข้าวสารของไทยทั้ง 8 ชนิด มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปปั่นก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก
2) นำข้าวที่อบแห้งแล้วทำการสกัดโดยวิธีการรีฟลักซ์ด้วยตัวทำละลายเฮกเซนในอัตราส่วนข้าวสาร 100 กรัม ต่อ ปริมาตร 150 มิลลิลิตรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส
3) เมื่อครบ 3 ชั่วโมง นำไประเหยตัวทำละลายออก ด้วยเครื่อง Rotary Vacuum Evaporator ได้สารสกัดหยาบเฮกเซน (Hexane crude extract) ให้เหลือประมาณ 1.00 มิลลิลิตร ใช้หลอดหยด (Dropper) ดูดมาเก็บไว้ในขวดบรรจุสาร (Vial) (ก่อนเก็บชั่งน้ำหนัก Vial ก่อนทุกครั้ง)
4) กากที่เหลือนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายเป็น เอทิลอะซีเตต ในอัตราส่วน ข้าวสาร 100 กรัม ต่อ ปริมาตร 150 มิลลิลิตรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

5) เมื่อครบ 3 ชั่วโมง นำไประเหยตัวทำละลายออก ด้วยเครื่อง Rotary Vacuum Evaporator ได้สารสกัดหยาบเอทิลอะซีเตต (Ethyl acetate crude extract) ให้เหลือประมาณ 1.00 มิลลิลิตร ใช้หลอดหยด (Dropper) ดูดมาเก็บไว้ในขวดบรรจุสาร (Vial) (ก่อนเก็บชั่งน้ำหนัก Vial ก่อนทุกครั้ง)
6) กากที่เหลือนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายเป็น เมทานอล ในอัตราส่วน ข้าวสาร 100 กรัมต่อ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส
7) เมื่อครบ 3 ชั่วโมง นำไประเหยตัวทำละลายออก ด้วยเครื่อง Rotary Vacuum Evaporator ได้สารสกัดหยาบเอทิลอะซีเตต (Methanol crude extract) ให้เหลือประมาณ 1.00 มิลลิลิตร ใช้หลอดหยด (Dropper) ดูดมาเก็บไว้ในขวดบรรจุสาร (Vial) (ก่อนเก็บชั่งน้ำหนัก Vial ก่อนทุกครั้ง)
8) นำสารสกัดของเฮกเซน เอทิลอะซีเตต และเมทานอล นำไปเก็บไว้ในตู้ดูดควันเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออก และนำไปทำให้แห้งที่ด้วยวิธีการแช่แบบจุดเยือกแข็ง (Freeze drying) อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส
9) นำสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซีเตต และเมทานอล ที่แห้งแล้ว ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

และหาเปอร์เซ็นต์โดยผลิตภัณฑ์

1.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบของข้าวทั้ง 8 ชนิดโดยใช้วิธี DPPH Radical Scavenging Activity

1) เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 6.0×10^{-5} โมลาร์
ชั่ง DPPH 0.0240 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยสารละลายเมทานอล (MeOH, ARgrade) ให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 1000.00 มิลลิลิตรใน volumetric flask เก็บไว้ไม่ให้โดนแสง โดยการใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มไว้
2) เตรียม stock solution : Trolox® (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่ง Trolox® 0.0499 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยสารละลายเมทานอล (MeOH, AR grade) ให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 50.00 มิลลิลิตรใน Volumetric flask เก็บไว้ไม่ให้โดยแสงโดยการใช้อะลูมิเนียมฟอลย์หุ้มไว้
3) เตรียม working standard solution : Trolox® (6-Hydroxy-2,5,7,8-Tetramethyl chroman-2-carboxylic acid) ความเข้มข้น 200 150 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
4) เตรียม stock solution : สารตัวอย่างของสารสกัดหยาบแต่ละชนิด ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่งสารสกัดหยาบของสารตัวอย่าง อย่างละ 1.00 มิลลิกรัม ละลายด้วยสารละลายเมทานอล (MeOH, AR grade) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตรใน Eppendorf tube เก็บไว้ไม่ให้โดนแสง โดยการใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มไว้
5) เตรียมสารละลายเพื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบจากข้าวในประเทศไทยจำนวน 8 ชนิด โดยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity



- ปิเปต DPPH 6.0×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 2.90 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองจากนั้น เติมTrolox® หรือสารตัวอย่าง 0.10 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง
- ปิเปต DPPH 6.0×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 2.90 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองจากนั้น เติมMeOH หรือสารตัวอย่าง 0.10 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง

6) ปิเปตสารละลาย MeOH ปริมาตร 3.00 มิลลิลิตร ใน cuvette (glass) เป็น blank มา วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยเทคนิค UV-Visible spectroscopy

7) นำสารละลายผสมที่ครบ 1 ชั่วโมง มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

8) สร้างกราฟมาตรฐานของ Trolox® ความเข้มข้นในช่วง 200 150 100 และ 50 มิลลิกรัม ต่อลิตร โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง(absorbance) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐาน (แกน x) กับค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารมาตรฐาน (แกน y) จะได้กราฟมาตรฐาน (standard curve)

9) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical) ของสารสกัดเฮกเซน เอทิลอะซีเตต และ เมทานอล จากสารตัวอย่างแต่ล่ะชนิด

$$\%\text{DPPH Radical Scavenging Activity} = ((A_{control} - A_{std/sample}) / A_{control}) \times 100$$

โดยที่

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

A_{std} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซีเตต และ เมทานอล จากสารตัวอย่างแต่ละชนิด

10) วัดค่าการดูดกลืนแสง ซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% DPPH Radical Scavenging Activity) ที่ได้มาเฉลี่ย เพื่อนำไปสร้างกราฟต่อไป

11) สร้างกราฟเพื่อหาค่า

11.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%DPPH Radical Scavenging Activity) ของสารสกัดเฮกเซน เอทิลอะซีเตต และ เมทานอล จากสารตัวอย่างแต่ละชนิด (แกน y) กับ ชนิดของสารตัวอย่าง (แกน x)

11.2 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%DPPH Radical Scavenging Activity) ของสารสกัดเฮกเซน เอทิลอะซีเตต และ เมทานอล จากสารตัวอย่างแต่ละชนิด (อเนกและบุณยกฤต, 2559)

1.2 การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดหยาบจากของข้าวทั้ง 8 ชนิดโดยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP assay)

1) เตรียมสารละลายตัวอย่างสารสกัดหยาบแต่ละชนิด

ชั่งสารสกัดหยาบแต่ละชนิด 5.00 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอล 1.00 มิลลิตรใน Eppendorf tube

2) เตรียม Working FRAP reagent

เตรียม Working FRAP reagent โดยผสมสารละลายทั้ง 3 ชนิด ดังนี้ 300 มิลลิโมลาร์ Acetate buffer pH 3.6 : 10 มิลลิโมลาร์ TPTZ ใน 40 มิลลิโมลาร์ HCl : 20 มิลลิโมลาร์ $FeCl_3$ ในอัตราส่วน 10 : 1 : 1

2.1 300 มิลลิโมลาร์ Acetate buffer pH 3.6

ชั่ง Sodium acetate 0.17 กรัม ละลายด้วย Glacial acetic acid 1.60 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 100.00 มิลลิลิตร

2.2 10 มิลลิโมลาร์ TPTZ ใน 40 มิลลิโมลาร์ HCl

ชั้ง TPTZ 0.0312 กรัม ละลายด้วย 1 โมลาร์ HCl 4.00 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 10.00 มิลลิลิตร

2.3 20 มิลลิโมลาร์ $FeCl_3$

ชั่ง $FeCl_3$ 0.0540 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 10.00 มิลลิลิตร

3) เตรียม Standard L-ascorbic acid (MW = 176.13 g/mol) ที่ความเข้มข้น 1000

500 250 100 และ 50 ไมโครโมลาร์

4) ปิเปต blank (น้ำ DI) sample และ L-ascorbic acid ความเข้มข้น 1000 500 250 100 และ 50 ไมโครโมลาร์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 100.00 ไมโครลิตร

5) เติม Working FRAP reagent 4000.00 ไมโครลิตร

6) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

7) สร้างกราฟมาตรฐานของ L-ascorbic acid ความเข้มข้น 1000 500 250 100 และ 50 ไมโครโมลาร์ โดยพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (แกน y) กับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐาน (แกน x) จะได้กราฟมาตรฐาน

8) นำค่า FRAP value โดยใช้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานคำนวณจากสูตร y=ax+b แทนค่า y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิด และก็จะได้ค่า x ซึ่งก็คือค่า FRAP value (มิลลิกรัม) ของสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิด

2. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (Total phenolic compound) จากสารสกัดหยาบจากข้าวของข้าวทั้ง 8 ชนิด

การเตรียมตัวอย่าง

1) เตรียม Folin-Ciocalteu reagent (1 นอร์มอล)

ละลาย Folin-Ciocalteu reagent (2 นอร์มอล) ในน้ำกลั่น 1 : 1

2) เตรียม 7% Sodium carbonate

ชั่ง Sodium carbonate 7 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร สุดท้าย 100.00 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3) Standard Tannic acid

ชั่ง Tannic acid 25.00 มิลลิกรัมละลายในน้ำกลั่น 25.00 มิลลิลิตร เป็น stock solution จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

การวิเคราะห์

1) เตรียมสารละลายเพื่อทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (Total phenolic compound) เตรียมสารละลายมาตรฐาน Tannic acid ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 40 80 120 160 และ 200 ไมโครลิตร ตามลำดับ ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย sodium carbonate 2500 ไมโครลิตร Folin-Ciocalteu reagent 500 ไมโครลิตรและเติมน้ำจนครบปริมาตร 4.00 มิลลิลิตร ในแต่ละหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 40 นาที ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาเขียนกราฟกับปริมาณแทนนิก (Tannic acid) (มิลลิกรัม) (ปวีณารัตน และประภัสสร)

2) เตรียมสารละลายตัวอย่างจากสารสกัดแต่ละชนิด โดยการชั่งมา 5.00 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอล 1.00 มิลลิลิตร โดยทำการวิเคราะห์เหมือนสารมาตรฐานกรดแทนนิก (Tannic acid) ในสารตัวอย่าง 1.00 กรัม จากกราฟมาตรฐาน

ผลการวิจัย

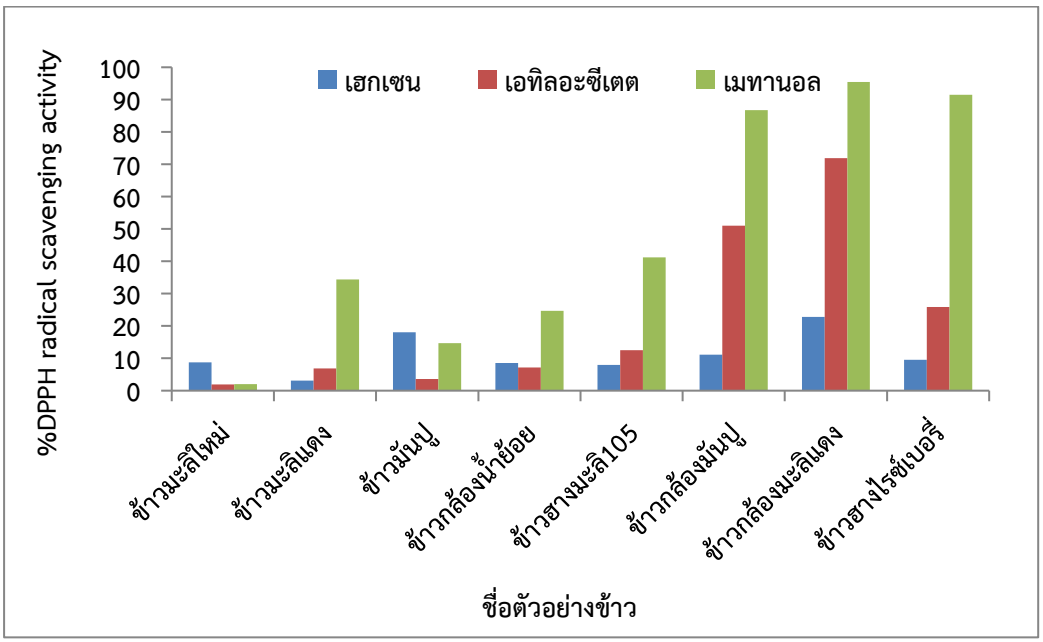
1. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

1.1 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เบื้องต้นของสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซิเตตและเมทานอลของข้าวทั้ง 8 ชนิด

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของสารสกัดข้าวทั้ง 8 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดทั้ง 3 ชนิด พบว่าข้าวที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุดคือสารสกัดเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดงโดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 95.45±0.80 โดยเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox® จะพบว่าค่าฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากข้าวปกติเมื่อทำเป็นข้าวกล่องค่าฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระก็จะเพิ่มมากขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตจากการสีข้าวทั่วไป เป็นการสีแบบข้าวกล้องก็จะส่งผลต่อค่าการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เบื้องต้นของสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซิเตตและเมทานอลของข้าวทั้ง 8 ชนิด

ลำดับ	ชื่อข้าว	% DPPH Radical Scavenging Activity (% DPPH±SD)		
		เฮกเซน	เอทิลอะซีเตต	เมทานอล
1	ข้าวมะลิใหม่	8.71±0.32	1.95±0.59	2.07±0.6
2	ข้าวมะลิแดง	3.15±1.24	6.91±1.42	34.41±6.0
3	ข้าวมันปู	18.06±21.58	3.61±0.41	14.65±3.3
4	ข้าวกล้องน้ำย้อย	8.60±1.06	7.14±0.27	24.73±3.1
5	ข้าวฮางมะลิ105	7.93±1.09	12.56±4.39	41.18±9.1
6	ข้าวกล้องมันปู	11.11±1.75	51.02±2.46	86.74±11.4
7	ข้าวกล้องมะลิแดง	22.81±18.44	71.91±0.30	95.45±0.80
8	ข้าวฮางไรซ์เบอรี่	9.59±1.36	25.84±1.53	91.47±0.20
	Trolox 1000 ppm		99.37±0.03	



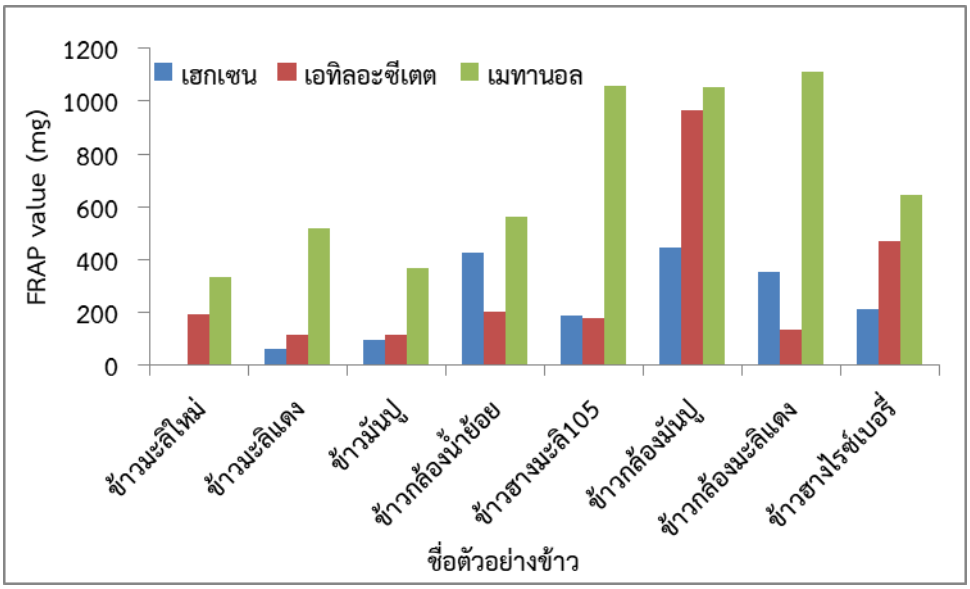
รูปที่ 1 เปรียบเทียบการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตต และเมทานอลของสารตัวอย่างข้าวทั้ง 8 ชนิด

1.2 ผลการทดสอบปริมาณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP assay) ของสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซิเตตและเมทานอลของสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซิเตต และเมทานอลของข้าวทั้ง 8 ชนิด

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของสารสกัดข้าวทั้ง 8 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของสารสกัด 3 ชนิดพบว่าข้าวที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ดีที่สุด คือ สารสกัดหยาบเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดง โดยมีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP เท่ากับ 1111.15±0.97 มิลลิกรัม โดยเทียบกับสารมาตรฐาน Ascorbic acid พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวมะลิทั่วไป กับข้าวกล้องค่าการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องจะสูงกว่าข้าวมะลิ และจะมีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นอีกเมื่อทำเป็นข้าวกล้อง จึงบอกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเพาะสีข้าวมีความจำเป็นซึ่งมีผลทำให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาปริมาณความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ FRAP เบื้องต้นของสารสกัดหยาบเอทิล อะซิเตต และเมทานอล ของสารสกัดหยาบเฮกเซน เอทิลอะซิเตตและเมทานอลของข้าวทั้ง 8 ชนิด

ลำดับ	ชื่อข้าว	FRAP value (mg) ± SD		
		เฮกเซน	เอทิลอะซีเตต	เมทานอล
1	ข้าวมะลิใหม่	3.72±0.49	193.08±0.15	333.28±0.61
2	ข้าวมะลิแดง	62.93±0.26	115.48±0.29	518.41±0.71
3	ข้าวมันปู	97.02±1.12	115.06±0.44	367.14±0.37
4	ข้าวกล้องน้ำย้อย	426.27±0.25	203.13±0.59	559.89±0.11
5	ข้าวฮางมะลิ105	189.6±1.12	178.46±2.15	1057.56±1.63
6	ข้าวกล้องมันปู	443.75±0.22	966.88±0.84	1054.23±1.19
7	ข้าวกล้องมะลิแดง	351.67±1.57	132.38±1.95	1111.15±0.97
8	ข้าวฮางไรซ์เบอรี่	210.42±0.67	471.97±0.58	642.50±1.15
	L-ascorbic acid		1488.91±14.47	



รูปที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ FRAP ของสารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตต และเมทานอลของสารตัวอย่างข้าวทั้ง 8 ชนิด

2. ผลการทดสอบหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

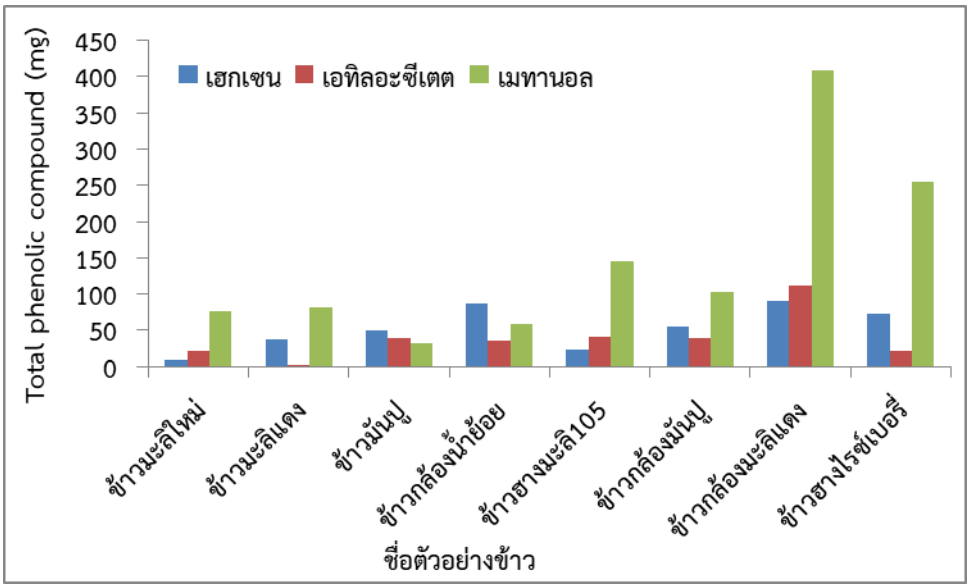
สารประกอบจำพวกฟีนอล ส่วนใหญ่เป็นสารที่มีขั้วละลายในตัวทำละลายจำพวกแอลกอฮอล์ (Alcohol) ตัวอย่างในสารกลุ่มนี้ ได้แก่ สารจำพวก ฟลาโวนอยด์ แซนโทนชนิดต่างๆ ที่มีต้นกำเนิดจากพืชชนิดต่างๆ สามารถต้านอนุมูลอิสระได้เพราะมีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยหมู่ฟีนอล ซึ่งมีสมบัติเป็นนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophile) ที่ดีหลายหมู่ ดังนั้นสารสกัดข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลอยู่มากจึงมักออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดี

จากการทดสอบปริมาณทั้งหมดของสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดข้าวทั้ง 8 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดทั้ง 3 ชนิดพบว่าข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดดีที่สุดคือสารสกัดหยาบเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดง โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 408.85±6.97 มิลลิกรัม โดยเทียบกับสาร

มาตรฐานกรดแทนนิก ดังนั้นจึงบอกได้ว่าในสารสกัดหยาบเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดงมีสารประกอบฟีนอลรวมปริมาณมากที่สุด ให้ผลที่สอดคล้องกันกับวิธี DPPH ที่ค่าฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระก็สูงที่สุดและปริมาณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของข้าวกล้องมะลิแดงก็สูงที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 3 การทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตต และเมทานอลของสารตัวอย่างข้าวที่ปลูกในเขตอีสานใต้ทั้ง 8 ชนิด

ลำดับ	ชื่อข้าวจ้าว	Total phenolic compound (mg TAE/g dry weight tannic acid)		
		เฮกเซน	**เอทิลอะซีเตต**	**เมทานอล**
1	ข้าวมะลิใหม่	9.73±0.83	21.63±1.56	76.85±2.64
2	ข้าวมะลิแดง	37.91±0.69	2.14±1.40	81.35±7.07
3	ข้าวมันปู	49.98±4.04	39.60±1.25	31.51±0.60
4	ข้าวกล้องน้ำย้อย	86.77±0.51	36.20±0.30	58.81±4.65
5	ข้าวฮางมะลิ**105**	24.14±1.98	41.93±1.44	145.93±3.21
6	ข้าวกล้องมันปู	55.45±4.40	39.07±0.90	102.37±7.21
7	ข้าวกล้องมะลิแดง	89.94±2.32	111.98±10.01	408.85±6.97
8	ข้าวฮางไรซ์เบอรี่	72.70±1.59	21.31±1.31	255.6±1.75



รูปที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตต และเมทานอลของสารตัวอย่างข้าวทั้ง 8 ชนิด

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาศักยภาพในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP พบว่าให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่าข้าวที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุดคือสารสกัดเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดงโดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 95.45±0.80 ส่วนการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี FRAP พบว่าข้าวที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP ดีที่สุด คือ สารสกัดหยาบเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดง โดยมีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ FRAP เท่ากับ 1111.15±0.97 มิลลิกรัม การศึกษาปริมาณทั้งหมดของสารประกอบ

ฟีนอลิกพบว่าข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดดีที่สุดคือสารสกัดหยาบเมทานอลของข้าวกล้องมะลิแดง โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 408.85±6.97 มิลลิกรัม ซึ่งจากผลการทำให้ทราบถึงคุณประโยชน์ที่มีอยู่ในข้าวและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับข้าวไทยให้มากขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการวิเคราะห์ตลอดการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ประพาส วีระแพทย์. (2552). *ลักษณะของข้าวที่สำคัญทางการเกษตร*. สืบค้นเมื่อ 28 เมษายน, 2562 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice-histories.html

[2] ปวีณารัตน เสนา และ ประภัสสร บุษหมั่น. *กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และข้าวฮางงอกของข้าวไทยบางสายพันธุ์*. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ,การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2.

[3] โรงพยาบาลเปาโล. (2561). สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คืออะไร ?.สืบค้นเมื่อ 9 พฤษภาคม, 2562 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://paolohospital.com/phahol/skin/antioxidant/

[4] ศรีวัฒนา ทรงจิตสมบูรณ์. (2548). *สารต้านอนุมูลอิสระ จำเป็นต่อร่างกายอย่างไร*. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม, 2562 จาก ชื่อเว็บไซต์: https://www.doctor.or.th/article/detail/1346

[5] เอนก หาลีและ บุณยกฤต รัตนพันธุ์. (กันยายน 2559). ผลของชนิดตัวทำละลายและความเข้มข้นซิตริกที่มีต่อการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากข้าวหอมนิล. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. : ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม.

ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง (วงศ์ Alliaceae) ในการยับยั้งเชื้อราบนเมล็ดข้าวและส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105

นุชนาฎ รามณี[1] อรัญญา พิมพ์มงคล[1] และ สุรสิทธิ์ สุทธิคำภา[2*]
[1]สาขาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]สาขาจุลชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail : surasit.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งเชื้อราบนเมล็ดข้าว และการส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 ของสารสกัดจากกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง ด้วยวิธีการสกัดพืชสดด้วยน้ำ ในอัตราส่วน 1:2 1:3 และ 1:5 เปรียบเทียบกับน้ำและฮอร์โมนสังเคราะห์ (IBA) โดยการแช่เมล็ดข้าวในแต่ละสารสกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และวางเรียงบนกระดาษเอนกประสงค์ในจานเพาะเชื้อที่มีสารสกัด (Paper towel method) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ผลการทดสอบพบว่า สารสกัดหอมใหญ่ความเข้มข้น 1:2 และสารสกัดหอมแดงความเข้มข้น 1:3 มีการส่งเสริมการงอกร้อยละ 81.43 จากนั้นทำการคัดแยก จำแนก เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดข้าว และนำไปทดสอบการยับยั้งเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดข้าว พบว่า *Rhizopus* sp. เป็นเชื้อราที่เจริญบนหน้าอาหาร PDA และสารสกัดหอมแดงความเข้มข้น 1:1 สามารถยับยั้งเส้นใยของเชื้อราได้ ดังนั้น การศึกษานี้ อาจจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในทางการเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

คำสำคัญ : สารสกัด การงอก ข้าว วงศ์หอม การยับยั้งเชื้อรา

Bioactivity of Extracts From Garlic, Onion and Shallot (Alliaceae) Against Fungal and Promoteing Rice Seed Germination

Nootchanart Ramanee[1] , Aranya Pimmongkol[1] and Surasit Sutthikhampa[2*]
[1]Major in Biology, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[2]Major in Microbiology, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
*E-mail : surasit.s@ubu.ac.th

Abstract

The study on antifungal activity and rice seed (*Oryza sativa* L. var. KDML 105) germination promotion of garlic, onion and shallot was carried out. Fresh plants were extracted by water in the ratios 1:2, 1:3 and 1:5 comparing to water and a synthetic hormone (IBA). Rice seeds were soaked in each extract for 1 hour and then aligned in Petri dish using paper towel method. The seeds were stored at room temperature for 7 days. Results showed that onion 1:2 and shallot 1:3 can promote seed germination 81.43%. In addition fungi contaminated on rice seed coat were also identified. *Rhizopus* sp. was found and grown on PDA. Shallot 1:1 was able to inhibit mycelium growth. These results might be useful as a choice for environmental friendly agricultural product.

Keywords : Extract, Germination, *Oryza sativa* L., Family Alliaceae, Antifungal

บทนำ

ข้าว เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae ในสกุล *Oryza* เป็นพืชอาหารหลักของประชากรโลก (จุลมณี ไพฑูรย์เจริญลาภ และคณะ, 2552) ชนิดของข้าวจำแนกตามถิ่นกำเนิดและความนิยมในการบริโภค จำแนกได้ 2 ชนิด คือ ข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Sleud.) ปลูกเพื่อบริโภคในบางพื้นที่ของทวีปแอฟริกา และข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* L.) ปลูกเพื่อบริโภคในทวีปเอเชีย แถบตะวันออกกลาง ยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย นอกจากนี้ ข้าวเอเชียยังแบ่งเป็นชนิดย่อยได้ 3 กลุ่ม คือ ข้าวอินดิกา (Indica) ข้าวจาปอนิกา (Japonica) และข้าวจาวานิกา (Javnica) (บุญดิษฐ์ วรินทร์รักษ์, 2549)

มีความสำคัญและอยู่คู่คนไทยมานาน เป็นทั้งอาหาร และเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้ให้ประเทศ (ทรรศนะ ลาภรวย และคณะ, 2552) แต่การเพาะปลูกข้าวนอกจากปัจจัยการงอก การเจริญ ความแข็งแรงของข้าวแล้วยังมีศัตรูของเมล็ดพันธุ์อีกด้วย จากรายงานของ Ahmed et al. (2013) ศึกษาสารสกัดจากพืชในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าว พบว่า สารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 1:1 และ 1:2 มีผลทำให้ร้อยละของการงอกของข้าวสามสายพันธุ์ คือ BR6 Pajam และ Joya ในประเทศบังคลาเทศเพิ่มขึ้นมากที่สุด และ Perelló et al., (2013) พบว่า สารอัลลิซิน (Allicin) ในสารสกัดกระเทียมที่ 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลให้ข้าวสาลีสายพันธุ์ Klein Zorro มีเปอร์เซ็นต์การงอกที่ดีที่สุด นอกจากนี้ และสารสกัดกระเทียมที่มีอัลลิซิน 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ช่วยลดการแพร่กระจายของเชื้อราที่ก่อโรคใบจุดสีน้ำตาลที่เกิดจากเชื้อรา *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. และโรคใบด่างที่เกิดจากเชื้อรา *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoemaker. ในเมล็ดข้าวสาลีได้ด้วย นอกจากนี้ สารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pyricularia grisea* ที่เป็นสาเหตุของโรคใบไหม้ในข้าวสามสายพันธุ์ คือ Supa Saro-5 และ Mwangaza ในประเทศไนจีเรียได้ อีกทั้ง สารสกัดจากกระเทียมยังส่งเสริมเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าว Supa Saro-5 และ Mwangaza ได้ดีอีกด้วย (Hubert et al., 2015)

ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้ จึงได้ศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Alliaceae ในการยับยั้งเชื้อราบนเมล็ดข้าวและส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 เพื่อให้ทราบว่าสารสกัดจากกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง ที่เป็นพืชในวงศ์ Alliaceae มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการส่งเสริมการงอก การเจริญในระยะแรก และการยับยั้งเชื้อราได้ ซึ่งอาจจะประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นสารกระตุ้นการงอกและสารยับยั้งเชื้อราเพื่อใช้ในทางการเกษตรและช่วยลดสารเคมีตกค้างในสิ่งแวดล้อม

วิธีการวิจัย

1) การเตรียมสารสกัดพืช และการเตรียมเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105

พืชวงศ์ Alliaceae ได้แก่ กระเทียม หอมแดง และหอมใหญ่ นำมาล้างทำความสะอาด และปั่นละเอียดด้วยน้ำกรองปลอดเชื้อในอัตราส่วน กรัม : มิลลิลิตร ได้แก่ 1:2, 1:3 และ 1:5 ดัดแปลงจากวิธีการของ Ahmed et al. (2013) จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและเก็บไว้ในขวด จากนั้นเตรียมเมล็ดข้าวเปลือกข้าวหอมมะลิ 105 ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 ฤดูกาล นำมาล้างด้วยน้ำสะอาดและคัดเมล็ดลอยน้ำทิ้งไป จากนั้นนำไปผึ่งแห้งบนกระดาษเอนกประสงค์ แล้วเก็บไว้ในกระปุกก่อนทำการทดลอง

2) การทดสอบการงอกและร้อยละการงอกของเมล็ดข้าว

นำเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 ที่เตรียมไว้แล้ว แช่ในสารสกัดพืชแต่ละชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเมล็ดข้าวเรียงบนกระดาษเอนกประสงค์ที่วางในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ปลอดเชื้อแล้ว 20 เมล็ด และเติมสารแต่ละชนิด จานละ 3 มิลลิลิตร (Paper towel method) ทำ 3 ซ้ำ ดังตารางที่ 1 จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และเริ่มบันทึกผลจำนวนเมล็ดงอก ความยาวราก และความยาวยอด เมื่อเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้วิเคราะห์ค่าแปรปรวน ค่าเฉลี่ย และความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) โดยใช้ ONE-WAY ANOVA และคำนวณร้อยละการงอกของเมล็ดและความยาวเฉลี่ยของรากและยอดตามสูตรดังต่อไปนี้

ร้อยละการงอก = (จำนวนเมล็ดที่งอก / จำนวนเมล็ดที่เพาะทั้งหมด) x 100

ตารางที่ 1 การออกแบบชุดการทดลองการเพาะเมล็ดข้าวในสารสกัด

ชุดการทดลอง (Treatment)	สารละลาย/สารสกัด
Control	น้ำกรองปลอดเชื้อ
IBA	ฮอร์โมนสังเคราะห์ IBA ความเข้มข้น 0.06%
Garlic 1:2	สารสกัดกระเทียมความเข้มข้น 1:2
Garlic 1:3	สารสกัดกระเทียมความเข้มข้น 1:3
Garlic 1:5	สารสกัดกระเทียมความเข้มข้น 1:5
Onion 1:2	สารสกัดหอมใหญ่ความเข้มข้น 1:2
Onion 1:3	สารสกัดหอมใหญ่ความเข้มข้น 1:3
Onion 1:5	สารสกัดหอมใหญ่ความเข้มข้น 1:5

ชุดการทดลอง (Treatment)	สารละลาย/สารสกัด
Shallot 1:2	สารสกัดหอมแดงความเข้มข้น 1:2
Shallot 1:3	สารสกัดหอมแดงความเข้มข้น 1:3
Shallot 1:5	สารสกัดหอมแดงความเข้มข้น 1:5

3) การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ การคัดแยกและการระบุชนิดเชื้อรา

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ประกอบด้วย มันฝรั่งหั่น 200 กรัม/ลิตร น้ำตาล Dextrose 20 กรัม/ลิตร Agar 15 กรัม/ลิตร และน้ำกรอง 1000 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave ที่ความร้อน 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากเย็นลงเทใส่จานเพาะเลี้ยงเชื้อ เมื่ออาหารแข็งพร้อมใช้ นำเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 จากภาชนะเก็บเมล็ดข้าวตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ วางกลางจานอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส สังเกตการเจริญของเส้นใย 3-5 วัน จากนั้นย้ายขอบของเส้นใย เลี้ยงบนอาหารใหม่ เพื่อทำให้เส้นใยราบริสุทธิ์ ก่อนระบุชนิดของเชื้อรา โดยการเขี่ยเส้นใยวางบนแผ่นสไลด์แก้วและหยดสารละลาย PVLG 1-2 หยด แล้วบันทึกภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

4) การศึกษาการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

เชื้อราบริสุทธิ์เขี่ยลงบนกลางหน้าอาหาร PDA และหยดสารสกัดความเข้มข้น 1:1 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ดัดแปลงจากวิธีการของ Hubert et al. (2015) เพื่อทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อราด้วยวิธี Agar Diffusion Assay และสังเกตวงใส (clear zone) บนจานเพาะเลี้ยงเชื้อ

ผลการวิจัย

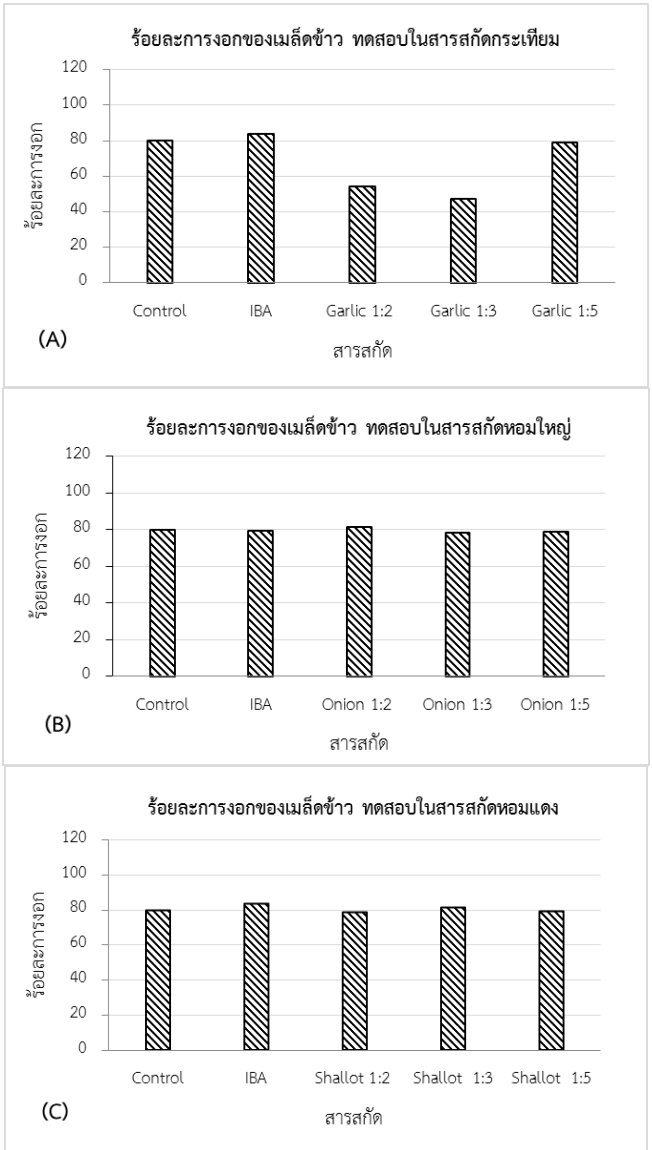
จากการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง ซึ่งอยู่ในพืชวงศ์ Alliaceae ต่อการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 จะเห็นได้ว่าสารสกัดจากหอมใหญ่ ที่ความเข้มข้น 1:2 และหอมแดง 1:3 พบการงอกของเมล็ดข้าวร้อยละ 81.43 ซึ่งมีร้อยละการงอกมากกว่าน้ำ แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสารสกัดจากกระเทียมในทุกความเข้มข้นมีร้อยละการงอกน้อยกว่าน้ำและฮอร์โมนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P<0.05*) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 2 ความยาวยอด ความยาวราก และร้อยละการงอกของข้าวหอมมะลิ 105 ในสารสกัดพืช และวิเคราะห์โดยใช้ ONE-WAY ANOVA *(P<0.05)*

ชุดการทดลอง (กระเทียม)	ความยาวยอด (cm)	ความยาวราก (cm)	ร้อยละการงอก
control	2.85±0.50	5.58±0.65	80.40
IBA	3.30±0.40	2.83±0.14	83.81
Garlic 1:2	0.45±0.14	0.12±0.10	54.29
Garlic 1:3	0.62±0.27	0.15±0.26	47.14
Garlic 1:5	3.24±0.48	2.45±0.13	79.05
ชุดการทดลอง (หอมใหญ่)	**ความยาวยอด (cm)**	**ความยาวราก (cm)**	**ร้อยละการงอก**
control	3.33±0.28	6.49±0.56	80.24
IBA	3.39±0.54	2.48±0.96	79.29
Onion 1:2	1.28±0.14	2.65±0.77	81.43
Onion 1:3	2.32±0.41	4.08±0.92	78.57
Onion 1:5	2.94±0.21	5.10±0.07	79.05

ชุดการทดลอง (หอมแดง)	ความยาวยอด (cm)	ความยาวราก (cm)	ร้อยละการงอก
control	3.46±0.17	7.37±0.51	79.76
IBA	3.58±0.14	3.95±0.26	83.81
Shallot 1:2	1.56±0.20	1.46±0.13	78.81
Shallot 1:3	2.62±0.47	1.82±0.27	81.43
Shallot 1:5	3.72±0.36	2.29±0.57	79.09

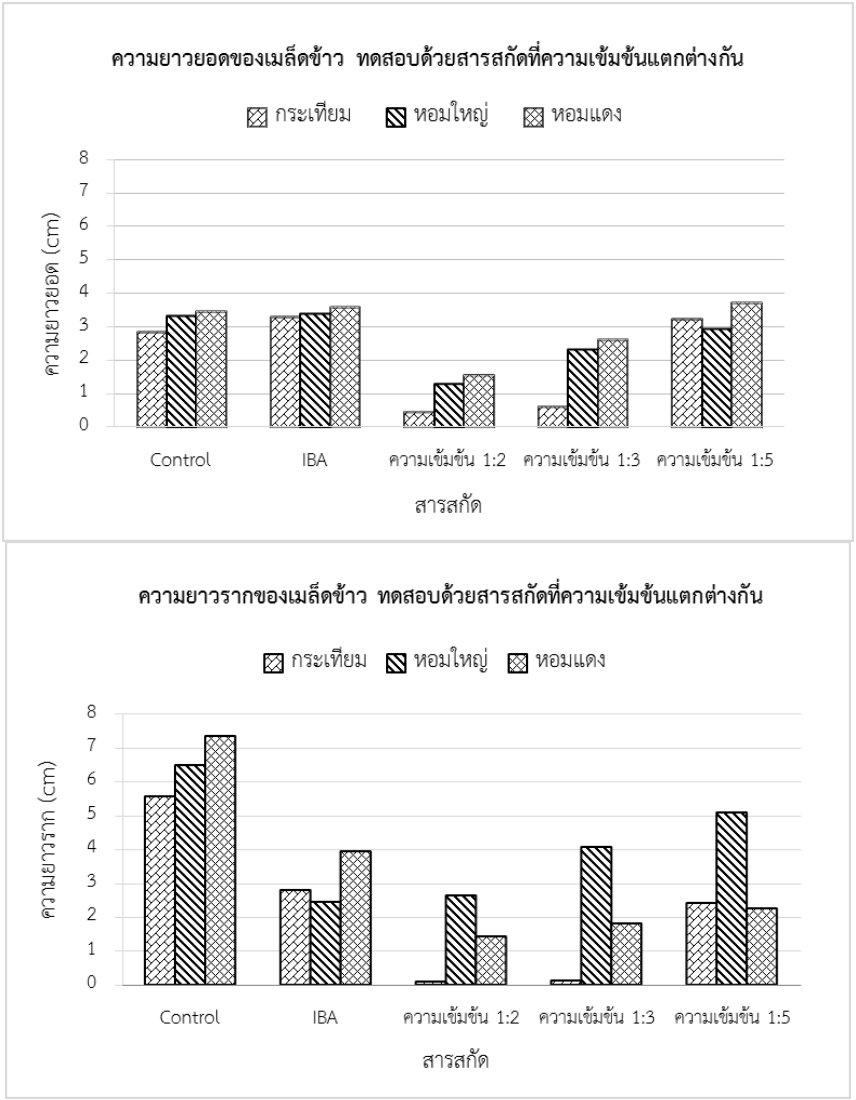
ซึ่งพบว่า ร้อยละการงอกของ Control, IBA, และ Garlic 1:5 มีการสนับสนุนการงอกของเมล็ดข้าวในแนวทางเดียวกันในทุกสารสกัด (ภาพที่ 1) ยกเว้น Garlic 1:2 และ Garlic 1:3 สารสกัดกระเทียม (ภาพที่ 1A) และ สารสกัดหอมใหญ่ (ภาพที่ 1B) n มีผลต่อการงอกของเมล็ดข้าวในทุกความเข้มข้น ซึ่งแตกต่างจากสารสกัดหอมแดงที่สนับสนุนการงอกของเมล็ดข้าวสอดคล้องกับชุดควบคุมและสารสังเคราะห์ IBA (ภาพที่ 1C)



ภาพที่ 1 ร้อยละการงอกของเมล็ดข้าว ทดสอบในสารสกัดกระเทียม (A) หอมใหญ่ (B) และหอมแดง (C)

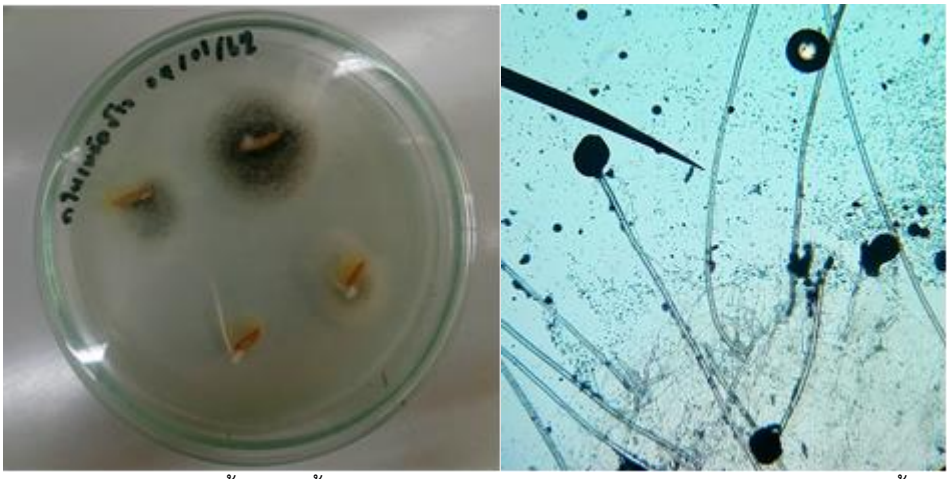
การเจริญในช่วงแรกหลังจากการงอกของเมล็ดผ่านไปแล้วภายใน 7 วัน จึงทำการสังเกตุทั้งความยาวยอด และความยาวของราก พบว่า ความยากของยอด (ภาพที่ 2 บน) ชุดการทดลองควบคุม และสารสังเคราะห์ฮอร์โมน IBA สนับสนุนการเจริญ

ของยอด ได้ดีกว่าสารสกัดทุกชุดการทดองอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามสารสกัดหอมแดงเป็นสารสกัดเดียวที่มีศักยภาพในการสนับสนุนการเจริญของยอดข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากกระเทียมและหอมใหญ่ สอดคล้องกับผลการทดลองความยากรากที่ สารสกัดไม่ได้สนับสนุนการเจริญของรากอย่างชัดเจนเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 2 ล่าง) ให้ผลการสนับสนุนการยืดยาวของรากได้สูงรวมถึงสูงกว่าสารสังเคราะห์ฮอร์โมน IBA แต่เป็นที่น่าสนใจว่า สารสกัดจากหอมใหญ่ที่ความเข้มข้น 1:3 และ 1:5 มีแนวโน้มสนับสนุนการเจริญของรากได้ดีกว่าสารสกัดพืชอีกสองชนิด รวมไปถึงมากกว่าสารสกัดฮอร์โมน IBA อีกด้วย



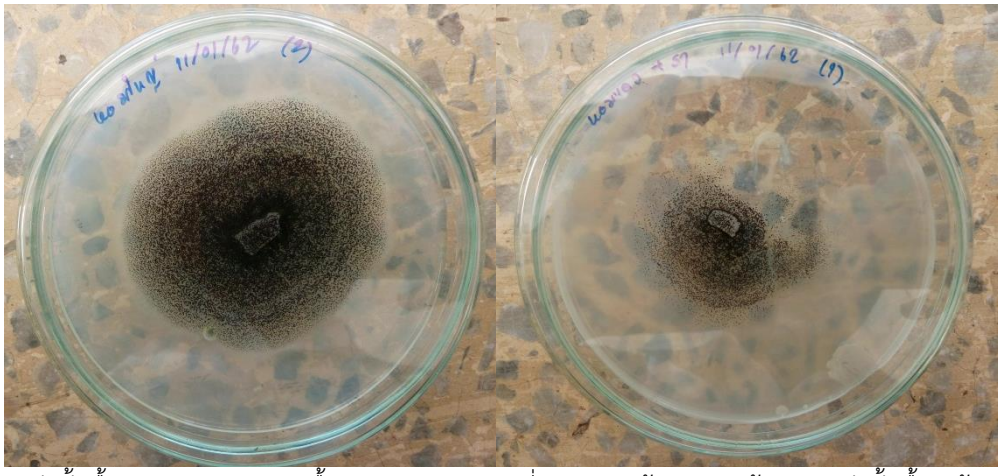
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบความยาวยอด (บน) ความยาวราก (ล่าง) เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ในสารสกัดกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง

การศึกษาการยับยั้งเชื้อราที่ติดมากับผิวของเมล็ดข้าวเมื่อเก็บรักษา บนอาหาร PDA พบว่า มีเส้นใยของเชื้อเราเจริญรอบๆ เมล็ดข้าว (ภาพที่ 3) และสร้างสปอร์สีดำ เมื่อนำไปส่องใต้กล้องกจุลทรรศน์พบว่ารูปร่างคล้ายเชื้อราในสกุล *Rhizopus* ซึ่งจะได้วิเคราะห์ในระดับลึกต่อไป จากนั้นนำมาทดสอบการยับยั้งด้วยสารสกัดจากพืชทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 3 การคัดแยกและจำแนกเชื้อราบนพื้นผิวของเมล็ดข้าว ราเจริญรอบเมล็ดข้าว (ซ้าย) รูปร่างของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ขวา)

เชื้อราที่แยกได้จากเมล็ด มีลักษณะคล้ายเชื้อรา *Rhizopus* sp. เมื่อนำไปทดสอบการยับยั้งกับสารสกัดจากพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่าสารสกัดจากหอมแดงที่ความเข้มข้น 1:1 มีฤทธิ์ในการยับยั้งเส้นใยของเชื้อราได้ เกิดวงใสขึ้นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 4 ขวา) ส่วนสารสกัดจากกระเทียมและหอมใหญ่ ไม่เกิดการยับยั้ง



ภาพที่ 4 การยับยั้งเชื้อราบนอาหาร PDA เชื้อรา *Rhizopus* sp. ที่เจริญบนหน้าอาหาร (ซ้าย) การยับยั้งเชื้อราด้วยสารสกัดหอมแดงความเข้มข้น 1:1 และเกิดวงใส (ขวา)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดกระเทียม หอมใหญ่ และหอมแดง ซึ่งเป็นพืชวงศ์ Alliaceae ที่มีผลต่อสนับสนุนการงอก และเจริญของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 และการยับยั้งเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดของเมล็ดข้าว ซึ่งพืชทั้ง 3 ชนิด ที่นำมาศึกษา เป็นพืชที่ใช้เป็นพืชเครื่องเทศ มีสารหอมระเหยที่มีกลิ่นฉุน และคาดว่ามีสารทางพฤกษเคมี ที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 อันจะส่งเสริมการเจริญในระยะแรกของเมล็ดข้าวหลังการงอกของเมล็ด ซึ่งเป็นระยะต้นอ่อนการศึกษานี้ อาจจะส่งเสริมให้ต้นกล้าอ่อนของข้าวมีความแข็งแรงและเจริญเป็นต้นข้าวและให้ผลผลิตคงที่หรือเพิ่มผลผลิต นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดข้าวหลังเก็บเกี่ยวและเก็บไว้ก่อนนำมาเพาะปลูกในฤดูกาลถัดไป เนื่องจากในขณะการเก็บมักจะมีเชื้อราเจริญได้ อาทิ *Rhizopus* sp. (ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย, 2552) ดังนั้น การศึกษานี้ สารสกัดจากหอมแดง อาจจะพัฒนาไปเป็นสารช่วยกระตุ้นการงอกและยับยั้งเส้นใยของเชื้อราในเมล็ดในการเพาะปลูกข้าว เนื่องจากกระตุ้นการงอกได้ค่อนข้างดี และสามารถยับยั้งเส้นใยของเชื้อราได้ ทั้งนี้ สารสกัดกระเทียม พบว่า ให้ผลที่ตรงข้ามกับการศึกษาของ Ahmed et al. (2013) ที่รายงานว่าสารสกัดจากกระเทียมความเข้มข้น 1:1 เพิ่มร้อยละการงอกในข้าวสามสายพันธุ์ในบังคลาเทศ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวคนละสายพันธุ์ จึงอาจจะมีผลต่อการกระตุ้นที่แตกต่างกันได้ นอกเหนือจากนี้ การศึกษาของ Hubert

et al. (2015) ยังพบว่า สารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มสูง ร้อยละ 25 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Piricularia grisea* ในข้าวสามสายพันธุ์ในประเทศไนจีเรียได้ ดังนั้น สารสกัดของพืชวงศ์ Alliaceae ทั้ง 3 ชนิดที่นำมาศึกษา มีศักยภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งเชื้อราและสนับสนุนการงอกและการเจริญในระยะแรกของต้นอ่อนข้าว ซึ่งอาจจะนำมาทดแทนการใช้สารเคมีที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในอนาคต ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จุลมณี ไพฑูรย์เจริญลาภ, จุรี ภัทรกุลนิษฐ์,ธนันท์ หาญเกริกไกร, วัชราภรณ์ พวงแก้ว, ไมตรี ปรีชา, อำนวย กนกสิงห์, อมรพันธุ์ ชูมี, นภาพร กลางท่าไค่ และพรทิพย์ จันทร์แจ้ง. (2552). *ข้าว:เทคโนโลยีการปลูกและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว.* กรุงเทพฯ: กรมการข้าว สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ทรรศนะ ลาภรวย, วิศาล สมพงษ์, กิติโชติ จันทร์ศรีตระกูล, ประสาท สุขเอมโอษฐ์, ปริญญา เชื้อชูชาติและวิเชียร ยุ่นกระโทก. (2552). *ข้าว...แหล่งกำเนิดวัฒนธรรมไทย*. กรุงเทพฯ: กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ทรรศนะ ลาภรวย, วิศาล สมพงษ์, กิติโชติ จันทร์ศรีตระกูล, ประสาท สุขเอมโอษฐ์, ปริญญา เชื้อชูชาติและวิเชียร ยุ่นกระโทก. (2552). *การผลิตข้าวคุณภาพดีเพื่อการส่งออก*. กรุงเทพฯ: กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย . (2552). *รังสีแกมมา:การคำนวนหาค่า D10 และผลต่อลักษณะทางชีวภาพของเชื้อราในโรงเก็บ(ระยะที่1).* กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

บุญดิษฐ์ วรินทร์รักษ์. (2549). *เทคโนโลยีการผลิตข้าวจาปอนิกาในประเทศไทย*. เชียงราย: ศูนย์วิจัยข้าวเชียงราย กรมการข้าว สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Ahmed, M., Hossain M., Hassan, K., and Dash, C.K. (2013). *Efficacy of different plant extract on reducing seed born infection and increasing germination of collected rice seed sample*. Universal Journal of Plant Science, 1(3), 66-73.

Hubert, J., Mabagala, R.B., and Mamiro, D.P. (2015) *Efficacy of selected plant extracts against Pyricularia grisea, causal agent of rice blast disease*. American Journal of Plant Sciences, 6, 602-611.

Perelló, A., Gruhlke, M., and Slusarenko, A.J. (2013). *Effect of Garlic Extract on Seed Germination, Seedling Health, and Vigour of Pathogen-infested Wheat*. Journal of Plant protection research, 53(4), 317-323.

ประสิทธิภาพการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาลด้วยวิธีการ เติมอากาศ หมู่บ้านหนามแท่ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

รัชวุฒิ โคตรลาคำ[1*] และ สุธิดา ขุลีหวาย[1]
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail : ratchawut.k@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเติมอากาศในการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาล โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล จากหมู่บ้านหนามแท่ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ที่ระดับความลึก 25 เมตร นำมาเติมอากาศในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 0 – 150 นาที ด้วยอัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ พีเอช (pH), ความขุ่น (Turbidity), เหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn) ผลการศึกษาพบว่า ที่ระยะเวลาในการเติมอากาศ 150 นาที ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.51-8.31, ค่าความขุ่นหลังเติมอากาศอยู่ในช่วง 0.98 – 80.7 NTU มีค่าเหล็กและค่าแมงกานีสน้อยที่สุดเท่ากับ 0.06 ± 4.16 mg/l และ 0.03 ± 2.68 mg/l ประสิทธิภาพในการบำบัดเหล็กและแมงกานีสดีที่สุดเท่ากับ 98.95 ± 1.82% และ 98.97 ± 1.78% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคพบว่า ค่าพีเอช, เหล็กและแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่ระยะเวลาในการเติมอากาศ 90 นาที สำหรับค่าความขุ่นต้องผ่านการบำบัดด้วยวิธีการกรองในลำดับต่อไป

คำสำคัญ : น้ำบาดาล อัตราการเติมอากาศ เหล็ก แมงกานีส

Efficiency of Iron and Manganese Removal in Groundwater by Aeration at Bannamtheang Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani

Ratchawut Kotlakome[1*] and Suthida Khuleewai[1]
Major in Environmental Science Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
E-mail : ratchawut.k@ubu.ac.th

Abstract

A study on the efficiency for removing iron and manganese from groundwater using an aeration method had the objective to investigate the appropriate aeration time to remove iron and manganese from groundwater. Groundwater samples were collected from a groundwater well with a depth of 25 meters located at Ban Nam Theang, Warin Chamrap district, Ubon Ratchathani province. The samples were aerated for 0 – 150 min with a subsurface aerator having an aeration capacity of 10 liter/min and the aerated samples were analyzed for four parameters: pH, turbidity, iron, and manganese. The results showed that the aeration time of 150 min, the pH values ranged from 5.51-8.31 and the turbidity values ranged from 0.98 to 80.7 NTU. Furthermore, at the aeration time of 150 min, the concentrations of iron and manganese were found to be the lowest at 0.06 ± 4.16 mg/l and 0.03 ± 2.68 mg/l consecutively. The iron and manganese removal efficiencies were at 98.95 ± 1.82% and 98.97 ± 1.78% respectively. Comparing the results of aerated groundwater for 90 min with the Thai Groundwater Quality Standard, it was found pH, iron, and manganese complied with the standard; however, the turbidity of the aerated groundwater must be treated with filtration before uses.

Keywords : Groundwater, Aeration rate, Iron, Manganese

บทนำ

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญในการดำรงชีวิต มนุษย์นำน้ำมาใช้ประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น การอุปโภคบริโภค การคมนาคม เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม แหล่งน้ำที่ถูกนำมาใช้งาน มีทั้งน้ำฝน น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งน้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น

น้ำใต้ดินชั้นบนและน้ำบาดาลในเขตชนบทอาศัยน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค คุณภาพของน้ำที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการนำมาใช้ ตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ (รัศมี นนที, 2553) ซึ่งน้ำบาดาลเกิดจากน้ำฝนและน้ำผิวดินที่ไหลซึมลงไปกักเก็บไว้ใต้ดินแต่น้ำบาดาลปะปนด้วยแร่ธาตุต่างๆ เกิดจากการที่น้ำบาดาลละลายเอาแร่ธาตุจากชั้นดินและหินขณะที่ไหลผ่าน ทำให้มีแร่ธาตุต่าง ๆ ปะปนในน้ำบาดาล (เฉลิม ชัยบุญเรือง, 2553) การวิเคราะห์คุณภาพน้ำถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ชี้ให้เห็นว่าแหล่งน้ำมีความเหมาะสำหรับการอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึงการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล โดยโอกาสที่แหล่งน้ำจะเกิดการปนเปื้อนมลสารขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ แหล่งน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) สำหรับการนำน้ำบาดาลมาใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพน้ำบาดาลเนื่องจากน้ำบาดาลถูกกักเก็บตามช่องว่างรูพรุน รอยแยกของชั้นดินชั้นหินต่าง ๆ น้ำที่ไหลผ่านชั้นดินชั้นหิน จะละลายเอาองค์ประกอบต่าง ๆ ของดินและหินออกมา ทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไป ทำให้น้ำบาดาลมีคุณภาพไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้อุปโภคบริโภค ปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลที่เป็นอุปสรรคต่อการนำมาใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สนิมเหล็ก น้ำที่มีเหล็กทำให้เกิดตะกอนแดง มีสี กลิ่น รสที่ไม่ชวนดื่ม เกิดคราบสีเหลืองตามเครื่องสุขภัณฑ์ อุดตันในท่อน้ำ ถ้าดื่มน้ำที่มีปริมาณเหล็กสูงจะเป็นโรคที่เกิดจากเหล็กสะสมในเม็ดเลือดมากผิดปกติ และยังเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555) สำหรับการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาลโดยวิธีเติมอากาศเป็นการให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็กและแมงกานีสเกิดเป็นตะกอนเหล็กมีลักษณะสีแดงแบบสนิมเหล็กและตะกอนของแมงกานีสเป็นตะกอนผงละเอียดดำ จำเป็นต้องมีกระบวนการกรองเพื่อดักตะ กอนแล้วนำน้ำบาดาลที่ใสไปเข้าสู่กระบวนการต่อไป ซึ่งวิธีการเติมอากาศมี 3 วิธี คือการพ่นน้ำหรือให้น้ำไหลผ่านอากาศ ซึ่งอาจใช้ทั้งฉีดน้ำให้เป็นฝอยเพื่อให้น้ำได้สัมผัสกับอากาศ, การให้น้ำไหลผ่านตะแกรงหรือถาดเจาะรู 4 – 6 ถาด วางเรียงซ้อนกันสูงประมาณ 1.2 – 3 เมตร และการพ่นฟองอากาศเข้าไปในน้ำ โดยใช้ปั๊มเติมอากาศผ่านท่อซึ่งเจาะรูพรุนเล็กๆหรือหัวฉีดพ่นลมให้เกิดฟองอากาศ สำหรับหัวพ่นอากาศนี้อาจออกแบบให้อยู่กับถังในน้ำ (ถิรดา องอาจณรงค์, 2549)

หมู่บ้านหนามแท่ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีการใช้น้ำบาดาลในการอุปโภค โดยปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลที่เป็นอุปสรรคต่อการนำมาใช้ ส่วนใหญ่มีลักษณะเกิดตะกอนแดงมีสี กลิ่น รสที่น่ารังเกียจ ทำให้เกิดคราบเหลืองติดตามเครื่องสุขภัณฑ์ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาลโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาล โดยวิธีเติมอากาศ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

วิธีการวิจัย

จุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

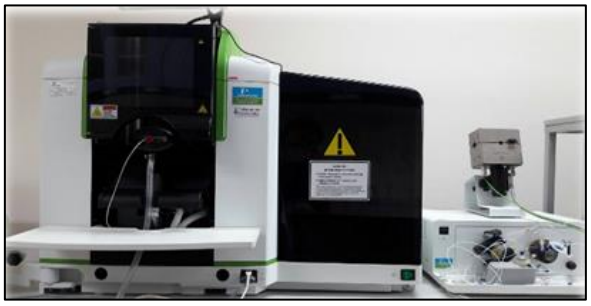
การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมอากาศโดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากหมู่บ้านหนามแท่ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี เป็นตัวอย่างน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 1 จุด ที่ระดับความลึก 25 เมตร บ่อน้ำห่างจากตัวอาคารประมาณ เมตร 10 น้ำบาดาลจะถูกสูบขึ้นมาไหลมาตามท่อ พี.วี.ซี. และมีการเก็บน้ำไว้ในบ่อคอนกรีตรองรับก่อนมีการนำมาใช้อุปโภค โดยมีวิธีในการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ดังนี้

1. สูบน้ำบาดาลผ่านท่อพีวีซี รอให้น้ำบาดาลใหม่ไหลเข้าบ่อเก็บตัวอย่างน้ำประมาณ 15 นาที
2. กลั้วล้างถังเก็บตัวอย่างก่อนบรรจุน้ำโดยใช้ตัวอย่างน้ำที่จะเก็บปริมาตรพอประมาณกลั้วล้างถังเก็บตัวอย่างก่อนเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีสารแปลกปลอมอื่นเจือปนในถังเก็บน้ำ
3. เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลใส่ถังน้ำพลาสติกขนาด 20 ลิตร โดยเก็บน้ำให้เต็มขวดเพื่อป้องกันน้ำสัมผัสกับอากาศและปิดฝาถังให้แน่น
4. นำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทันที

การวิเคราะห์การบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาล

เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ พีเอช (pH), ความขุ่น, เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) โดยนำน้ำบาดาลปริมาตร 10 ลิตร ใส่ในถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร แล้วเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง (Continuous) โดยใช้วิธีการเติมอากาศแบบการพ่นฟองอากาศเข้าไปในน้ำ ด้วยปั๊มเติมอากาศผ่านหัวฉีดพ่นลมให้เกิดฟองอากาศ อัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 150 นาที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลที่ผ่านการเติมอากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ดังนี้ 0 5 10 15 30 45 60 90 120 และ 150 นาที วิเคราะห์ ค่าพีเอช ด้วยเครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ค่าความขุ่น ด้วยวิธีเนฟีโลเมตริก (Nephelometric Method) ค่าเหล็กและแมงกานีสด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปค

โทรโฟโทเมทรี (Atomic Absorpion Spectrophotometry) Method : Application Note: Atomic Spectroscopy, The Perkin-Elmer Corporation, Vol. 18(3), 1997. รุ่น : PinAAcle 900T, Serial : PTCS12041703 ห้องปฏิบัติการทดสอบโลหะหนัก ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังแสดงภาพที่ 1



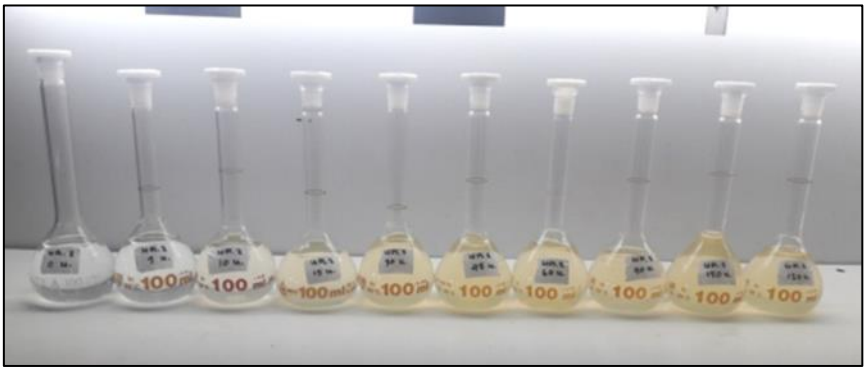
ภาพที่ 1 *เครื่อง* Atomic Absorption Spectrophotometer (*AAS*)

ผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาล โดยวิธีการเติมอากาศด้วยอัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 0 – 150 นาที ตัวอย่างน้ำบาดาลจากหมู่บ้านหนามแท่ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีลักษณะทางกายภาพ ใส มีตะกอนแดงติดตามขอบภาชนะที่ใช้รองรับ มีกลิ่นเหม็นคาว

ลักษณะน้ำบาดาลที่ผ่านการเติมอากาศในระยะเวลาแตกต่างกัน

จากการทดลองการเติมอากาศในน้ำบาดาลด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน พบว่า น้ำบาดาลมีสีน้ำตาลแดงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เติมอากาศ สีน้ำตาลแดงที่เกิดขึ้น มาจากออกซิเจนที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาล เปลี่ยนสภาพเป็นตะกอนเหล็กทำให้เหล็กอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำบาดาลจะอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กคาร์บอเนตมากที่สุด โดยเหล็กที่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติ เป็นแหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำบาดาล เหล็กที่พบในหินและดิน ส่วนใหญ่ปรากฏรวมตัวกันอยู่กับธาตุอื่น ๆ เป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์ เหล็กซัลไฟด์และเหล็กคาร์บอเนต ซึ่งเหล็กออกไซด์เกิดจากแร่ 3 ชนิดคือ แร่เฮมาไตท์สีแดง (Red Hematile) หรือ Fe_2O_3 แร่แมกเนไตท์ (Magnetile) หรือ Fe_3O_4 แร่ลิมอนไนท์หรือแร่เฮมาไตท์สีน้ำตาล (Brown Hematilr) หรือ $Fe_2O_33H_2O$ เหล็กซัลไฟด์เกิดจาก แร่พายไรท์ (Pyrites) หรือ FeS_2 ส่วนเหล็กคาร์บอเนตเกิดจาก แร่สิเดอไรท์ (Siderites) หรือ Fe_2O_3 เหล็กในน้ำบาดาลเกิดจากธาตุทั้งหมดซึ่งสามารถละลายน้ำได้และอยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{+2}) (เทวารักษา เครือคล้าย, 2552) ดังแสดงภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการเติมอากาศในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ผลการตรวจวัดค่าพีเอช (pH)

ผลการตรวจวัดค่าพีเอชในน้ำบาดาล หลังจากการเติมอากาศที่อัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 0 - 150 นาที พบว่าค่าพีเอช เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ในการเติมอากาศทั้ง 3 ครั้ง โดยค่าพีเอช อยู่ในช่วง 5.51 - 8.31 ซึ่งน้ำบาดาลที่มีค่าพีเอชต่ำนั้นมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายในดินทำให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูงละลายอยู่ในน้ำบาดาลทำให้เกิดเป็นสภาพกรด สำหรับวิธีการเติมอากาศเป็นการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากน้ำบาดาล เมื่อน้ำ

บาดาลสัมผัสกับอากาศจะมีการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำให้กับอากาศ หลังจากคาร์บอนไดออกไซด์แยกตัวออกจากน้ำ จึงทำให้น้ำมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเฟรัส (Fe^{+2}) ที่อยู่ในน้ำบาดาลกลายเป็นเหล็กเฟริก (Fe^{+3}) ในรูปของ $Fe(OH)_3$ ซึ่งตกตะกอนได้ ดังสมการ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2547)

$$4Fe(HCO_3)_2 + 2O_2 + H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 \downarrow + 8CO_2$$

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการอุปโภค พบว่า ค่าพีเอชอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ อยู่ในช่วง 7.0 – 8.5 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) ของน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมอากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลาในการเติมอากาศ (นาที)	ค่าพีเอช			* มาตรฐานค่าพีเอชในน้ำบาดาล
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
0	5.75	5.51	5.53	
5	5.90	5.67	5.76	
10	6.02	5.78	5.98	
15	6.11	5.93	6.10	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม เท่ากับ 7.0-8.5
30	6.17	5.97	6.10	
45	6.22	6.00	6.12	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด เท่ากับ 6.5-9.2
60	6.26	6.07	6.23	
90	7.59	6.10	6.37	
120	8.31	6.13	6.44	
150	8.05	6.13	6.40	

* ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรฐานการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 (มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค)

ผลการตรวจวัดความขุ่น (Turbidity) ของน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมอากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ความขุ่นในน้ำบาดาล หลังจากการเติมอากาศที่อัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 0 – 150 นาที พบว่า ความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ในการเติมอากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 0.98 – 80.71 NTU ดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากออกซิเจนที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาล เปลี่ยนสภาพเป็นตะกอนเหล็ก ซึ่งในน้ำบาดาลจะพบเหล็กในรูปของเหล็กอนินทรีย์ เนื่องจากเหล็กอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำบาดาลจะอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กคาร์บอเนตมากที่สุด (เฟอร์รัสไบคาร์บอเนต) มีตะกอนสีแดง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555) ส่วนแมงกานีสที่ละลายในน้ำบาดาลจะอยู่ในรูปแมงกานัสไบคาร์บอเนต เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแมงกานีสที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนเป็นสีน้ำตาลดำ (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2545) ดังสมการ

$$4Fe(HCO_3)_2 + 2O_2 + H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 \downarrow + 8CO_2$$

$$Mn_2+ + ½\ O_2 + H_2O \longrightarrow MnO_2 \downarrow + 2H^+$$

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมอากาศโดยมีระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการเติมอากาศ (นาที)	ค่าความขุ่น (NTU)			* มาตรฐานค่าความขุ่นในน้ำบาดาล
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
0	0.98	5.02	7.57	
5	0.81	6.24	8.49	
10	1.25	7.20	9.28	
15	4.11	13.24	12.48	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม เท่ากับ 5
30	40.21	28.47	55.64	
45	59.75	51.55	64.50	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
60	71.44	65.63	71.61	เท่ากับ 20
90	79.20	71.57	72.83	
120	80.71	72.50	73.05	
150	77.23	73.11	73.27	

* ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรฐานการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 (มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค)

ผลการตรวจวิเคราะห์เหล็ก (Fe) ในน้ำบาดาล

ผลการวิเคราะห์เหล็กในน้ำบาดาล หลังจากการเติมอากาศที่อัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 0 – 150 นาที พบว่า ค่าเหล็ก (Fe) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงระยะเวลาในการเติมอากาศที่ 150 นาที โดยก่อนการเติมอากาศมีค่าเท่ากับ 4.16 ± 1.19 mg/l และที่ระยะเวลาในการเติมอากาศ 150 นาทีมีค่า เท่ากับ 0.06 ± 4.16 mg/l เนื่องจากการเติมอากาศลงในน้ำเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้สัมผัสกับน้ำ เมื่อน้ำมีการสัมผัสกับอากาศที่เติมลงไป ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำ จากนั้นจะเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไม่ละลายน้ำสามารถกำจัดออกได้ง่าย (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) และเหล็กจะละลายอยู่ในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน อยู่ในสภาพของเกลือเฟอร์รัส (Fe^{2+}) หรือเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อน ที่พบในน้ำบาดาลอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ถ้า pH ของน้ำต่ำกว่า 3 เหล็กจะอยู่ในสภาพเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ไอออน สาเหตุที่มีเหล็กละลายในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน เนื่องจากน้ำบาดาลอยู่ในสภาพไร้อากาศ (anaerobic) ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี reduction ดังนั้น เหล็กที่อยู่ในใต้ดินจะอยู่ในรูปของ $FeCO_3$ ซึ่งเป็นเกลือคาร์บอเนตละลายน้ำได้ไม่ดี เมื่อเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนรูปเป็นเกลือไบคาร์บอเนต สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ถ้าน้ำบาดาลไม่สัมผัสกับอากาศ เหล็กจะอยู่ในสภาพเป็นสารละลาย ดังสมการ

$$FeCO_3 + CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{ไร้ออกซิเจน}} Fe(HCO_3)_2$$

แต่เมื่อสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ น้ำบาดาลจะสัมผัสกับอากาศเหล็กจะอยู่ในสภาพเป็นตะกอนคอลลอยด์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความขุ่น ซึ่ง $Fe(OH)_3$ และ Fe_2O_3 มีสีแดงแบบสนิมเหล็ก (เอมอร คล่องแคล่ว, 2551) ดังสมการ

$$4Fe(HCO_3)_2 + 2O_2 + H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow + 8CO_2$$

$$2Fe(OH)_3 \longrightarrow Fe_2O_3\downarrow + 3H_2$$

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค พบว่า ที่ระยะเวลาในการเติมอากาศ 90 นาที สามารถบำบัดเหล็กให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 0.5 mg/l และเกณฑ์อนุโลมสูงสุด 1 mg/l สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่า ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 150 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด เท่ากับ 98.95 ± 1.82 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์และประสิทธิภาพการบำบัดเหล็ก (Fe) ในน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมอากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลาในการเติมอากาศ (นาที)	ผลการวิเคราะห์ค่าเหล็ก (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัดเหล็ก (%)	* มาตรฐานเหล็กในน้ำบาดาล
0	4.16 ± 1.19	0.00 ± 0.00	**เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม เท่ากับ 0.5 mg/l** **เกณฑ์อนุโลมสูงสุด เท่ากับ 1 mg/l**
5	3.16 ± 1.12	13.58 ± 8.61	
10	2.87 ± 0.88	31.21 ± 1.84	
15	2.08 ± 0.50	49.48 ± 3.65	
30	1.47 ± 0.51	64.44 ± 9.79	
45	0.83 ± 0.29	80.31 ± 2.12	
60	0.54 ± 0.19	86.41 ± 4.99	
90	0.43 ± 0.28	89.60 ± 6.64	
120	0.19 ± 0.10	95.42 ± 2.00	
150	0.06 ± 0.10	98.95 ± 1.82	

* ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรฐานการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 (มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค)

ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าแมงกานีส (Mn) ในน้ำบาดาล

ผลการวิเคราะห์แมงกานีสในน้ำบาดาลหลังจากการเติมอากาศที่อัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 0 – 150 นาที พบว่า แมงกานีสมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงระยะเวลาในการเติมอากาศที่ 150 นาที โดยก่อนการเติมอากาศมีค่าแมงกานีสเท่ากับ 2.68 ± 0.33 mg/l และที่ระยะเวลาในการเติมอากาศ 150 นาที มีค่าแมงกานีส เท่ากับ 0.03± 2.68 mg/l ซึ่งแมงกานีสในน้ำบาดาลจะอยู่ในรูปของ แมงกานัสไบคาร์บอเนต ($Mn(HCO_3)_2$ ซึ่งละลายในน้ำ แต่จะปรากฏอยู่สองรูปแบบคือ แมงกานัส (Mn^{+2}) และแมงกานิก (Mn^{+3}) ดังสมการ

$$MnCO_3 + CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{ไร้ออกซิเจน}} Mn(HCO_3)_2$$

เมื่อน้ำบาดาลสัมผัสกับอากาศจะเกิดปฏิกิริยา แมงกานัส (Mn^{+2}) และ แมงกานิก (Mn^{+3}) จะถูกเปลี่ยนสภาวะแมงกานีส (Mn^{+4}) ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอนเป็นสีน้ำตาล (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

$$Mn(HCO_3)_2 \longrightarrow Mn^{2+} + 2HCO_3$$

$$Mn^{2+} + \tfrac{1}{2}\, O_2 + H_2O \longrightarrow MnO_2\downarrow + 2H^+$$

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภค พบว่า ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 150 นาที สามารถบำบัดแมงกานีสให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดอยู่ในช่วง 0.3 mg/l และเกณฑ์อนุโลมสูงสุด 0.5 mg/l มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด เท่ากับ 98.97 ± 1.78% แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์และประสิทธิภาพการบำบัดแมงกานีส (Mn) ในน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมอากาศที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลาในการเติมอากาศ (นาที)	ผลวิเคราะห์ ค่าแมงกานีส (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัดแมงกานีส (%)	* มาตรฐานแมงกานีสในน้ำบาดาล
0	2.68 ± 0.33	0.00 ± 0.00	**เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม เท่ากับ 0.3 mg/l** **เกณฑ์อนุโลมสูงสุด เท่ากับ 0.5 mg/l**
5	2.13 ± 0.38	20.51 ± 13.76	
10	1.70 ± 0.76	36.81 ± 28.11	
15	1.59 ± 0.76	40.67 ± 29.34	
30	1.31 ± 0.89	50.53 ± 35.07	
45	1.05 ± 1.04	60.83 ± 40.69	
60	0.55 ± 0.44	79.73 ± 16.99	
90	0.45 ± 0.47	83.03 ± 18.35	
120	0.35 ± 0.45	86.71 ± 17.79	
150	0.03 ± 0.05	98.97 ± 1.78	

* ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรฐานการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 (มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาล โดยวิธีการเติมอากาศด้วยอัตราการเติมอากาศ 10 ลิตรต่อนาที ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 0 – 150 นาที สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ค่าพีเอชในน้ำบาดาลมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเติมอากาศโดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.51-8.31 ความขุ่นหลังการเติมอากาศในน้ำบาดาลมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเติมอากาศ โดยมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 0.98 – 80.7 NTU สำหรับค่าเหล็กและแมงกานีสในน้ำบาดาลมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเติมอากาศโดยที่ระยะเวลาในการเติมอากาศ 150 นาที มีค่าเท่ากับ 0.06 ± 4.16 mg/l และ 0.03 ± 2.68 mg/l ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการบำบัด เท่ากับ 98.95 ± 1.82% และ 98.97 ± 1.78% ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศ ในอัตราที่แตกต่างกันในการบำบัดเหล็กและแมงกานีส
2. ควรมีการเปรียบเทียบสารออกซิไดซ์ เช่น โอโซน คลอรีนหรือด่างทับทิมในการบำบัดเหล็กและแมงกานีส
3. ควรมีการนำไปทดสอบการบำบัดน้ำบาดาลกับพื้นที่ที่มีปัญหาในเรื่องเหล็กและแมงกานีส

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ หัวหน้าภาควิชาและนักศึกษาหลักสูตรสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่าน ที่ให้แนวคิดและคำแนะนำ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2547). *คู่มือการตรวจสอบการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจากสถานที่กำจัดมูลฝอย.* กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2555) *รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล.* กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.

กุลลดา บรรลือวงศ์. (2544). *การกำจัดเหล็กในน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดด้วยวิธี ออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน (Doctoral dissertation*, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2549). *วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.* พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: หจก. สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลายส์

เกษม จันทร์แก้ว. (2551). *วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.* พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,.

เฉลิม ชัยบุญเรือง. (2553). *การบริหารจัดการคุณภาพน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

เทวารักษา เครือคล้าย. (2552). *ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการบริหารการจัดการน้ำอุปโภคบริโภค.* สำนักบริหารจัดการน้ำ. กรุงเทพมหานคร

ถิรดา องอาจณรงค์. (2549). “การแก้ไขปัญหาเรื่องน้ำบาดาล”. http://www.dmsc2.dmsc.moph.go.th. 28 กันยายน, 2560.

ปราโมช เชี่ยวชาญ. (2552). *คุณภาพน้ำทางชีวภาพ.* สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. ฉบับที่ 3:

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม *เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการใน วิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ* (2551, 21 พฤษภาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 125 ตอนพิเศษ 85 ง.

พระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520. (28 กรกฎาคม 2520). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 94 ตอนที่ 69 ก, หน้า 8.

พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. (2542). *การใช้ลานตากตะกอนการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบบำบัดตะกอน ในโรงงานผลิตน้ำประปา.* สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ฟองสวาท สุวคนธ์ สิงหราชวราพันธ์. *การเกิดน้ำบาดาลและการพัฒนาที่ยั่งยืน.* ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 37. 2546.

มั่นสิน ตัณฑุเวศม์. (2551). *คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.* กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุเวศม์. (2547). *เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.* พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. (2542). ฉบับที่ 12 *มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค.* กรมทรัพยากรน้ำดาล

รัศมี นนที. (2553). *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในชุมชนรอบเหมืองทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย.* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.

วิเชียร จุ่งรุ่งเรือง. (2533) *การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลระหว่างตัวกรองที่เป็นทราย คัดขนาดและทรายไม่คัดขนาด.* วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิทยา เพียรวิจิตร และวรรณศรี บุญยรัตนพันธ์. (2516) *วิธีกำจัดเหล็กอย่างง่ายสำหรับชนบท.* คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อุบลพงษ์ วัฒนเสรี. (2528). *การปนเปื้อนของน้ำบาดาล.* มหาวิทยาลัยขอนแก่น. จังหวัดขอนแก่น

เอมอร คล่องแคล่ว. (2551). *การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล*. กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์น้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, หน้า 73.

การประเมินศักย์ระคายเคืองของสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูล โดยใช้วิธีทดสอบในเยื่อบุไข่ไก่ฟัก

วิราวนันท์ กนกนิษฐ์หิรัญ[1] ชุตินันท์ ประสิทธิ์ภูริปรีชา[2] วันดี รังสีวิจิตรประภา[3] และ บัญชา ยิ่งงาม[3*]
[1]นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาศาสตร์แห่งเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์สุขภาพ
คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี [2]กลุ่มวิชาชีวเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[3]กลุ่มวิชาเภสัชเคมีและเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail : bancha.y@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

เมนทอลมีคุณสมบัติเพิ่มความรู้สึกเย็นให้แก่ผิวหนังผ่านกลไกกระตุ้นตัวรับศักย์ไอออนชั่วคราวของช่องทาง metastatin ชนิดย่อยที่ 8 (transient receptor potential ion channel metastatin subtype 8) ที่ปลายประสาทรับสัมผัสบริเวณผิวหนังกำพร้าที่มีชีวิต ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลที่ความเข้มข้นสูงหากสัมผัสกับผิวหนังโดยตรงอาจทำให้เกิดการระคายเคืองได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักย์ระคายเคืองของสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุในนาโนแคปซูลโดยทดสอบในเยื่อบุไข่ฟัก กำหนดให้เยื่อบุไข่ฟักที่ทดสอบด้วยสารละลายโซดาไฟความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 นอร์มอล และสารละลายน้ำเกลือปกติเป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวกและเชิงลบตามลำดับ ปฏิกิริยาการระคายเคืองที่ประเมินประกอบด้วย ภาวะเลือดออก การแตกของหลอดเลือดและการเกาะกลุ่มของโปรตีน ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอร่วมกับโปรแกรมประมวลผล จากนั้นคำนวณค่าศักย์ระคายเคืองแบบกึ่งปริมาณ ผลการศึกษาพบว่าสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุในนาโนแคปซูลและสเปรย์พื้นมีคะแนนการระคายเคืองเท่ากับ 2.15 ± 1.91 และ 2.84 ± 1.65 ตามลำดับ ($p > 0.05$) ในขณะที่คะแนนการระคายเคืองที่สูงขึ้น (3.92 ± 0.75) พบในสารละลายเมนทอลอิสระ การศึกษานี้บ่งชี้ว่าสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมลทอลบรรจุนาโนแคปซูลไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและสามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์ภายนอกได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ : การระคายเคือง เมนทอล นาโนแคปซูล เยื่อบุไข่ไก่ฟัก สเปรย์

Evaluation of Irritation Potential of Spray containing Menthol-Loaded Nanocapsules using the Hen's Egg Test Chlorioallantoic Membrane Assay

Virawanan Kanoknitthiran[1] Chutinun Prasitpuriprecha[2], Wandee Rungseevijitprapa[3] and Bancha Yingngam[3*]
[1]Master Degree Student Program in Cosmetic Sciences and Health Products,
Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
[2]Department of Biopharmacy, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
[3]Department of Pharmaceutical Chemistry and Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
*E-mail : bancha.y@ubu.ac.th

Abstract

Menthol can enhance skin cooling sensation through the interaction with the transient receptor potential ion channel metastatin subtype 8 at nerve endings in the viable epidermis. Direct dermal exposure to the products containing a high content of menthol may result in irritation. The purpose of this study was to evaluate the irritation potential of spray containing menthol-loaded nanocapsules Hen's Egg Test-Chorioallantoic Membrane (HET-CAM). The CAM treated with 0.1 N NaOH and normal saline solution was served as a positive and negative control, respectively. The irritation reactions, including hemorrhage, vascular lysis and coagulation, were observed using a stereomicroscope coupled with Image Flam Work software. Then, a semi-quantitative scoring method was calculated. Results showed that spray containing menthol-loaded nanocapsules and base spray showed the irritation score of 2.15 ± 1.91 and 2.84 ± 1.65 respectively, whereas a higher irritation score (3.92 ± 0.75) was observed in free menthol solution. These results indicate that encapsulation of menthol in nanocapsules was well tolerated with reduced irritation potential and could be safe for topical uses.

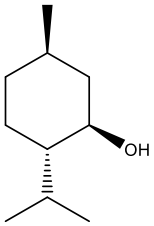
Keywords : Irritation, Menthol, Nanocapsule, Hen's Egg Chlorioallantoic Membrane, Spray

บทนำ

เมนทอล (menthol) เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญชนิดหนึ่งที่มีราคาไม่แพง มีมูลค่าทางการตลาดสูงและได้รับความนิยมใช้อย่างมาก สารชนิดนี้เป็นที่ต้องการทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม น้ำหอม เครื่องสำอาง และการประยุกต์ใช้ในทางเภสัชศาสตร์ เนื่องจากคุณสมบัติที่กระตุ้นให้รู้สึกเย็นและทำให้ผู้ใช้รู้สึกสดชื่นชั่วขณะซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ ทำให้อุปสงค์ของเมนทอลเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่เนื่องด้วยเมนทอลมีข้อจำกัดเรื่องค่าขีดการละลายน้ำที่ต่ำมากและเมื่อสัมผัสความร้อนจะเกิดการระเหยได้อย่างรวดเร็ว

เมนทอล (รูปที่ 1) มีคุณสมบัติเพิ่มความรู้สึกเย็นให้แก่ผิวหนังผ่านกลไกกระตุ้นตัวรับศักย์ไอออนชั่วคราวของช่องทาง metastatin ชนิดย่อยที่ 8 (transient receptor potential ion channel metastatin subtype 8) ที่ปลายประสาทรับสัมผัสบริเวณผิวหนังชั้นหนังกำพร้าที่มีชีวิต (Farco and Gundmann, 2013; Nazıroğlu et al., 2018; Yildiz et al., 2018) การใช้เมนทอลเป็นสารออกฤทธิ์ให้ความเย็นแก่ผิวหนังมีข้อจำกัดสำคัญคือ เมนทอลมีค่าขีดการละลายน้ำต่ำ เท่ากับ 0.4 mg/mL ณ อุณหภูมิ 25 °C ขณะเดียวกันสารชนิดนี้ระเหิดได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง (Punpee et al., 2016) ปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ช่วยสร้างความรู้สึกเย็นที่ผิวหนังที่ช่วยทำให้เมนทอลละลายน้ำและลดอัตราการระเหิดลงได้โดยกักเก็บสารออกฤทธิ์ในนาโนแคปซูล จากนั้นจึงนำนาโนแคปซูลที่ได้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบสเปรย์เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานคือ สามารถใช้งานง่ายเพียงฉีดพ่นที่บริเวณใบหน้าหรือส่วนอื่นของร่างกาย พกพาสะดวกขณะเดินทาง และไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง ต้นแบบผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้พัฒนาเสร็จสิ้นแล้วโดยกลุ่มคณะผู้วิจัย

อย่างไรก็ตามการนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปใช้จำเป็นต้องทราบข้อมูลด้านการระคายเคือง ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักย์ระคายเคืองของสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลโดยทดสอบในเยื่อบุไข่ฟัก กำหนดให้เยื่อบุไข่ฟักที่ทดสอบด้วยสารละลายโซดาไฟความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 นอร์มอล และสารละลายน้ำเกลือปกติ (normal saline solution) เป็นกลุ่มควบคุมผลบวกและผลลบตามลำดับ ปฏิกิริยาการระคายเคืองที่ประเมินประกอบด้วย ภาวะการแตกของเม็ดเลือดแดง การฉีกขาดของหลอดเลือดและการตกตะกอนของโปรตีน จากนั้นคำนวณค่าศักย์ระคายเคือง



รูปที่ 1 โครงสร้างเคมีของเมนทอลชนิด (1*R*, 2*S*, 5*R*) -2-isopropyl-5-methylcyclohexanol หรือ (-)-menthol ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้ (Nazıroğlu et al., 2018)

วิธีการวิจัย

วัสดุ สารเคมี และอุปกรณ์

เมนทอล ((1*R*, 2*S*, 5*R*) -2-isopropyl-5-methylcyclohexanol) (บริษัท Fisher Chemical, Leicestershire ประเทศสหราชอาณาจักร) poloxamer 188 (Kolliphor® P188) poly(ε-caprolactone) (น้ำหนักโมเลกุล 80,000 กรัมต่อโมล) polysorbate 80 (Tween® 80) sorbitan monooleate (Span® 80) (บริษัท Sigma Aldrich Chemical, St. Louis, MO, USA) caprylic/capric triglyceride (Lexol® GT-865) (บริษัท INOLEX (ประเทศไทย) จำกัด, กรุงเทพฯประเทศไทย) สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดเป็นเกรดสำหรับใช้วิเคราะห์ ไข่ไก่ฟักสายพันธุ์ไวท์ไอร์แลนด์ (ฟาร์มเลี้ยงไก่ท้องถิ่น อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด) เครื่องฟักไข่ไก่อัตโนมัติ (Nanchang Alex Electric Factory, Jiangxi ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน)

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับทดสอบศักย์ระคายเคือง

สเปรย์ที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ สเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลและสเปรย์พื้น มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ สารออกฤทธิ์เพิ่มความรู้สึกเย็นเมนทอลความเข้มข้นร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายร่วม สารกันเสีย สารหล่อลื่นผิว น้ำหอม และน้ำกลั่น กรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์สเปรย์พื้นจะแทนที่ปริมาณของเมนทอลที่บรรจุ

ในนาโนแคปซูลด้วยน้ำกลั่น ซึ่งระบบนำส่งเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลเตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนนาโน (nanoprecipitation) (Ferreira et al., 2018) และคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตด้วยเทคนิคการตอบสนองพื้นผิว (response surface methodology) ร่วมกับการประยุกต์ใช้ฟังก์ชั่นความพึงพอใจ ประกอบด้วยสารดังต่อไปนี้ เมนทอล poly(ε-caprolactone) caprylic/capric triglyceride sorbitan monooleate poloxamer 188 polysorbate 80 และน้ำกลั่น (ทางคณะผู้วิจัยไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลสัดส่วนของสารที่ใช้ในตำรับผลิตภัณฑ์สเปรย์โดยละเอียดได้เนื่องจากการศึกษานี้เป็นโครงวิจัยที่ทำร่วมกับผู้ประกอบการภาคเอกชน)

การทดสอบศักย์ระคายเคืองต่อเยื่อบุไข่ฟัก

ศักย์การระคายเคืองของสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลและสเปรย์พื้นประเมินโดยการทดสอบ HET-CAM ตามแนวทางของ NICEATM-ICCVAM (2018) ดังนี้ นำไข่ไก่ฟัก สายพันธุ์ไวท์ไอร์แลนด์ น้ำหนักระหว่าง 50 ถึง 60 กรัม มาบ่มในเครื่องฟักไข่ไก่อัตโนมัติ (Nanchang Alex Electric Factory, Jiangxi ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน) สภาวะการบ่มไข่ฟักกำหนดดังนี้ อุณหภูมิภายในเครื่องฟักไข่เท่ากับ 37.8 ± 0.3 °C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 58.0 ± 2.0 อัตราการกลับไข่ทุก 2 ชั่วโมง นานครั้งละ 15 วินาที เมื่อไข่ฟักอายุครบ 9 วัน เปิดเปลือกไข่ด้วยเครื่องเจาะเปลือกไข่ ลอกเยื่อบุด้านนอกออก จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างที่จะทดสอบ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร เติมลงบนผิวเยื่อบุไข่ฟัก แต่ละกลุ่มประกอบด้วยไข่ฟัก 6 ฟอง การศึกษานี้กำหนดให้ความเข้มข้นของเมนทอลที่อยู่ในสูตรตำรับและสารละลายเมนทอลอิสระมีปริมาณเท่ากัน กลุ่มที่ทดสอบด้วยสารละลายโซดาไฟละลายในน้ำปราศจากไอออนความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมผลบวกและสารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 0.9%w/v ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมผลลบ จากนั้น บันทึกเวลาครั้งแรกที่ตรวจพบ การแตกของเม็ดเลือดแดง การฉีกขาดของหลอดเลือดและการเกาะกลุ่มของโปรตีน เป็นระยะเวลา 300 วินาที ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Nikon ZMZ 745T, Nikon Instruments Inc. , Melville, NY, USA) ควบคู่กับกล้องบันทึกภาพ Canon DSLR แปลผลโดยใช้โปรแกรม Image Frame Work และประเมินศักยภาพการระคายเคืองโดยวิธีการให้คะแนนแบบกึ่งปริมาณซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ 1 ดังนี้

$$\text{irritation score} = \frac{5\times(301-\text{h})}{300} + \frac{7\times(301-\text{l})}{300} + \frac{9\times(301-\text{c})}{300} \quad (1)$$

เมื่อ h, l และ c แสดงถึง ระยะเวลาการแตกของเม็ดเลือดแดง การฉีกขาดของหลอดเลือด และการเกาะกลุ่มของโปรตีน การประเมินผลคะแนนที่คำนวณได้ กำหนดดังนี้

คะแนน 0.0-0.9 ไม่ระคายเคือง
คะแนน 1.0-4.9 ระคายเคืองเล็กน้อย
คะแนน 5.0-8.9 ระคายเคืองปานกลาง
คะแนน 9.0-21.0 ระคายเคืองรุนแรง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

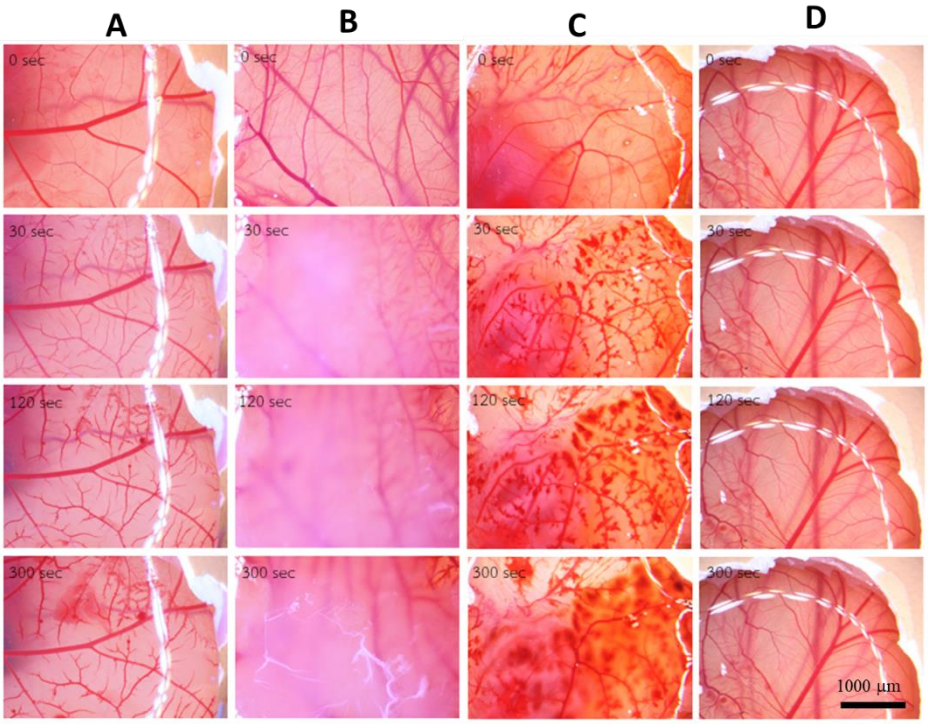
ข้อมูลผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กำหนดค่าระดับความน่าจะเป็นที่ $p < 0.05$ ถือว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GraphPad Prism 6.0 (GraphPad Software Company, San Diego, CA, USA)

ผลการวิจัย

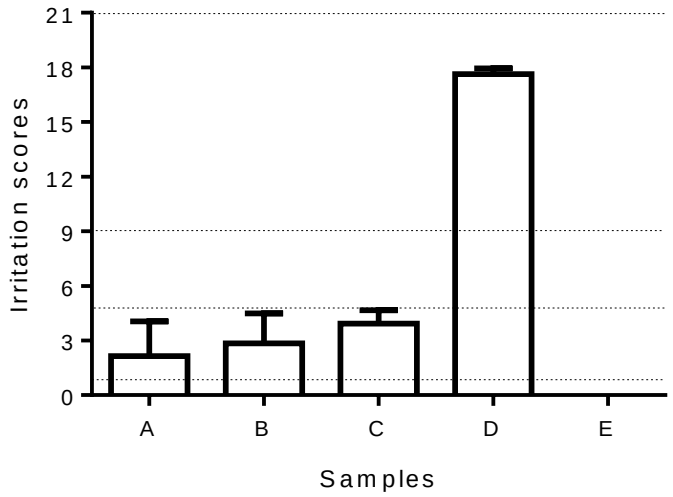
คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของระบบนำส่งเมนทอลที่บรรจุในนาโนแคปซูล มีค่าร้อยละการกักเก็บสารออกฤทธิ์สูงเท่ากับ 98.18 ± 1.05 เมื่อนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์สเปรย์และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลมีค่าเท่ากับ 5.32 ± 0.84 ขณะที่สเปรย์พื้นมีค่าเท่ากับ 5.34 ± 0.97 ค่าความเป็นกรด - ด่าง ของผลิตภัณฑ์สองชนิดดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และอยู่ในช่วงระหว่าง 4.5 – 6.5 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ใกล้เคียงกับผิวหนังของมนุษย์

การประเมินศักย์ระคายเคืองของผลิตภัณฑ์ต่อเยื่อบุไข่ไก่ฟักแสดงในรูปที่ 2 ผลการศึกษาพบว่าสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลมีภาวะการแตกของเม็ดเลือดแดงที่เวลา 51.6 ± 6.2 วินาที ขณะที่สเปรย์พื้นพบที่เวลา 55.5 ± 3.5

วินาที ผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบทั้งสองชนิดข้างต้นไม่มีผลทำให้เกิดการฉีกขาดของหลอดเลือดและไม่ทำให้โปรตีนเสียสภาพ เมื่อตรวจสอบในช่วงเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 300 วินาทีตามแนวทางของ NICEATM-ICCVAM (2018) สำหรับกลุ่มควบคุมผลบวก พบว่าสารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทำให้เกิดการแตกของเม็ดเลือดแดงที่เวลา 12.8 ± 3.3 วินาที การฉีกขาดของหลอดเลือดที่เวลา 71.2 ± 8.2 วินาที และโปรตีนเกาะกลุ่มกันที่เวลา 52.6 ± 7.5 วินาที ไม่พบการระคายเคืองเกิดขึ้นในกลุ่มควบคุมผลลบที่ทดสอบด้วยสารละลายเกลือแกงปกติ โดยมีค่าคะแนนการระคายเคืองเท่ากับ 0.00 ± 0.00 จากนั้นเมื่อนำค่าระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดและโปรตีนเยื่อบุไข่ฟักมาคำนวณเป็นคะแนนระคายเคือง สามารถสรุปผลได้ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุในนาโนแคปซูลและสเปรย์พื้นมีคะแนนการระคายเคืองเท่ากับ 2.15 ± 1.91 และ 2.84 ± 1.65 ตามลำดับ ($p > 0.05$) คะแนนการระคายเคืองที่สูงขึ้น (3.92 ± 0.75) พบในสารละลายเมนทอลอิสระ ขณะที่กลุ่มผลบวกควบคุมและผลลบควบคุมมีค่าเท่ากับ 17.63 ± 0.31 และ 0.00 ± 0.00 ตามลำดับ ($p < 0.001$)



รูปที่ 2 ภาพถ่ายหลอดเลือดของเยื่อบุไข่ไก่ฟักอายุ 9 วัน เมื่อทดสอบ ณ เวลา 0 30 120 และ 300 วินาที ตามลำดับ เมื่อ A คือ สเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูล B คือ สเปรย์พื้น C คือ สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และ D คือ สารละลายเกลือแกงปกติ ($n = 6$)



รูปที่ 3 คะแนนศักย์ระคายเคืองของผลิตภัณฑ์สเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลและสเปรย์พื้น เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมผลบวกและผลลบ ตามลำดับ เมื่อ A คือ สเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูล B คือ สเปรย์พื้น C คือ สารละลายเมนทอลอิสระ D คือ สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และ E คือ สารละลายเกลือแกงปกติ (n = 6)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การทดสอบศักย์ระคายเคืองของผลิตภัณฑ์ต่อเยื่อบุไข่ไก่ฟักจัดเป็นวิธีทดสอบทางเลือกที่ไม่ใช้สัตว์ทดลองทางวิทยาศาสตร์ การศึกษานี้ได้นำวิธีการดังกล่าวเพื่อตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพของสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูล การศึกษานี้เลือกใช้ไข่ไก่ฟักอายุ 9 วัน เป็นเยื่อบุสำหรับทดสอบ เพราะมีเนื้อเยื่อที่สมบูรณ์ประกอบด้วยหลอดเลือดแดง หลอดเลือดดำ และหลอดเลือดฝอย แต่เอมบริโอของไก่ยังเจริญเติบโตไม่ถึงร้อยละ 50 ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบการระคายเคืองหรือบาดเจ็บที่เกิดจากสารเคมี (NICEATM-ICCVAM, 2015) คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีนี้เพราะสามารถทำได้รวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายไม่สูง และจัดเป็นทางเลือกที่ได้รับการยอมรับสำหรับการทดลองในสัตว์หรือมนุษย์ ผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมนทอลบรรจุนาโนแคปซูลและสเปรย์พื้นมีคะแนนการระคายเคืองจัดอยู่ในเกณฑ์ระคายเคืองเล็กน้อย (คะแนนอยู่ในช่วง 1.0-4.9) ซึ่งต่ำกว่า 9 ชี้ให้เห็นว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยสำหรับการใช้เฉพาะที่ได้ (Pandey et al., 2019) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ผิวหนังมนุษย์เพาะเลี้ยง 2 ชนิด คือ immortalized human skin keratinocytes (HaCaT cells) และ normal human dermal fibroblasts (NHDF cells) ด้วยวิธี 3-(4,5-diethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) ซึ่งคณะผู้วิจัยพบว่าระบบนำส่งเมนทอลที่บรรจุในนาโนแคปซูลและระบบนำส่งนาโนแคปซูลเปล่าไม่เป็นพิษต่อเซลล์ในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 3 ถึง 5000 μg/mL ดังนั้น การศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าสเปรย์ที่มีส่วนผสมของเมลทอลบรรจุนาโนแคปซูลไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและสามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์ภายนอกที่มีความปลอดภัยได้ ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการขออนุมัติจริยธรรมการศึกษาวิจัยในมนุษย์เกี่ยวกับประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกเย็นในอาสาสมัครสุขภาพดีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ภายใต้โครงการยกระดับสมรรถนะนักวิจัยไทย เพื่อสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 (รหัสโครงการ 05000008/050000080001) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวผรัณดา ผาริการ และนายกันตพงศ์ วงศ์อเนกเกษม ที่ช่วยเหลือในการทดสอบศักย์ระคายเคืองของผลิตภัณฑ์ในเยื่อบุไข่ไก่ฟัก

เอกสารอ้างอิง

Farco, J., & Grundmann, O. (2013). Menthol-pharmacology of an important naturally medicinal “cool”. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 13, 124-131.

Ferreira, L. M., Cervi, V. F., Sari, M. H. M., Barbieri, A. V., Ramos, A. P., Copetti, P. M., de Brum, G. F., Nascimento, K., Nadal, J.M., Farago, P.V., Sagrillo, M. R., Nogueira, C.W., Cruz, L. (2018). Diphenyl diselenide loaded poly (ε-caprolactone) nanocapsules with selective antimelanoma activity: Development and cytotoxic evaluation. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 91, 1-9.

Nazıroğlu, M., Blum, W., Jósvay, K., Çiğ, B., Henzi, T., Oláh, Z., Vizler, C., Schwaller, B., Pecze, L. (2018). Menthol evokes $Ca2^{+}$ signals and induces oxidative stress independently of the presence of TRPM8 (menthol) receptor in cancer cells. *Redox Biology*, 14, 439-449.

NICEATM-ICCVAM, In Vitro Test Methods for Detecting Ocular Corrosives and Severe Irritants, 2015. Accessed 1 October 2018, http://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/evalatm/test-method-evaluations/ocular/in-vitro/index.html.

Pandey, D., Kesharwani, P., & Jain, D. (2019). Entrapment of drug-sorbate complex in submicron emulsion: A potential approach to improve antimicrobial activity in bacterial corneal infection. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 49, 455-462.

Phunpee, S., Saesoo, S., Sramala, I., Jarussophon, S., Sajomsang, W., Puttipipatkhajorn, S., Soottitantawat, U.R., Ruktanonchai, U. R. (2016). A comparison of eugenol and menthol on encapsulation characteristics with water-soluble quaternized β-cyclodextrin grafted chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 472-480.

Yildiz, Z. I., Celebioglu, A., Kilic, M. E., Durgun, E., & Uyar, T. (2018). Menthol/cyclodextrin inclusion complex nanofibers: Enhanced water-solubility and high-temperature stability of menthol. *Journal of Food Engineering*, 224, 27-36.

เจลล้างหน้าจากสารสกัดตรีผลา

ปราณี ศรีราช[1]* รัชฎาวรรณ อรรคนิมาตย์[1] นฤวัตร ภักดี[1] ภานิชา พงศนราทร[1] พัตต์วราภรณ์ อุดรสรรพ์[1] และพรรณนิภา เจ๊กแตงพะเนาว์[1]
[1]สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
*E-mail : srirajp11@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเจลล้างหน้ากำจัดสิวจากสารสกัดตรีผลา โดยทำการศึกษาฤทธิ์ในการกำจัดเชื้อ *Propionibacterium acnes* (*P. acnes*) ของสารสกัดตรีผลา และตั้งตำรับเจลล้างหน้า 3 สูตร ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเจลล้างหน้า และทดสอบประสิทธิภาพของเจลล้างหน้าในการกำจัดเชื้อ *P. acne* จากการศึกษาหาบริเวณยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ด้วยวิธี Disc diffusion techniques ต่อเชื้อ *P. acne* พบว่ามีค่า inhibition zone เท่ากับ 13.20 ± 1.20 มิลลิเมตร และมีค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ของตำรับตรีผลาเท่ากับ 31.25 mg/mL และมีค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถฆ่าเชื้อ *P. acne* เท่ากับ 62.50 mg/mL หลังจากทำการตั้งสูตรเจลล้างหน้า 3 สูตร สูตรที่ 1 เจลล้างหน้าที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดตรีผลา สูตรที่ 2 เจลล้างหน้าที่มีสารสกัดตรีผลา 1% และ สูตรที่ 3 เจลล้างหน้าที่มีส่วนผสมของสารสกัดตรีผลา 2% พบว่า ทั้งสามสูตรเนื้อเจลมีลักษณะใส ไม่มีกลิ่น มีความหนืดเล็กน้อย แต่สูตรที่ใส่สารสกัดตรีผลา จะมีสีน้ำตาลอ่อน ถึงเข้ม เจลล้างหน้าตรีผลามีความเป็นกลาง pH 6-7 จากการศึกษาประสิทธิภาพของเจลล้างหน้าต่อเชื้อ *P. acne* พบว่า สูตร 3 ที่มีสาสกัดตรีผลา 2% มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อได้ดีกว่าสูตรอื่น ดังนั้นในการพัฒนาเจลล้างหน้าจากสารสกัดตรีผลาในครั้งนี้เป็นประโยชน์ในทางเครื่องสำอางของสารสกัดจากตรีผลาในการรักษาสิว

คำสำคัญ : เจลล้างหน้า ตรีผลา กำจัดสิว

Cleansing Gel of Triphala Extracts

Pranee Sriraj[1]* Ratchadawan Aukkanimart[1] Naruwat Pakdee[1] Panicha Pongnarathorn[1]
Patwarapohn Udonsan[1] and Phannipha Chekdaengphano[1]
Department of Traditional Medicine, Faculty of Natural Resources,
Rajamangala University of Technology ISAN Sakon nakhon Campus
*E-mail : srirajp11@gmail.com

Abstract

This research aims to investigate the development of cleansing gel from Triphala extracts to anti- *Propionibacterium acnes* (*P. acnes*). And formulated 3 formula of cleansing gel. For anti-microbial activity, evaluated by Disc diffusion techniques. Triphala extract demonstrated antimicrobial property against *P. acnes* with maximum zone of inhibition of 13.20 ± 1.20 mm and inhibit *P. acne* by minimum inhibitory concentration (MIC) were 31.25 mg/mL and Minimum bactericidal concentration (MBC) were 62.50 mg/mL. Then formulated 3 formula of cleansing gel, formula 1 is the normal formula of cleansing gel, formula 2 consist of 1% triphala extracts and formula 3 consist of 2% triphala extracts. The physical appearance of Triphala gel were clear, no smell, brown color, pH 6-7. For formula 3 (2% of Triphala) can inhibited *P. acne* more than another formula. The Triphala cleansing gel were useful for anti-acne and developing to natural product in the future.

Keywords : Cleansing gel, Triphala, Anti-acne

บทนำ

สิวเป็นปัญหาสำคัญที่พบได้ทั้งเพศหญิงและเพศชาย โดยเฉพาะในวัยรุ่น เมื่อเข้าสู่วัยรุ่นร่างกายมีการสร้างฮอร์โมนเพศมากขึ้น ฮอร์โมนนี้จะไปกระตุ้นต่อมไขมันให้มีขนาดโตขึ้นและผลิตไขมันมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเข้าสู่วัยรุ่นผิวหนังบริเวณใบหน้าและหนังศีรษะจะมันมากขึ้น โดยแบคทีเรีย *Propionibacterium acne* (*P. acne*) จะเพิ่มมากขึ้นในบริเวณรูขุมขนบริเวณที่มีต่อมไขมันขนาดใหญ่ นอกจากนั้น *P. acne* จะกระตุ้นให้รูขุมขนบริเวณที่เป็นสิวมีการสร้างเคอลาติน (keratin) ที่ผิดปกติ ทำให้เกิดการอุดตัน

ที่บริเวณรูขุมขนนั้น และยังเป็นตัวกระตุ้นให้สิวอักเสบมากขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus epidermidis* และ *Staphylococcus aureus* ที่พบในสิวหนองได้อีกด้วย (Bojar & Holland, 2004, Williams et al., 2012) การรักษาสิวในปัจจุบันได้มีทั้งแบบยารับประทานและยาทา เช่น Retinoid, ยาปฏิชีวนะ เช่น ยา erythromycin และ isotretinoin ยาบางชนิดส่งผลข้างเคียงต่อร่างกาย เช่น การรับประทานยาปฏิชีวนะอาจส่งผลให้เชื้อเกิดการดื้อต่อยาและยาบางกลุ่มส่งผลต่อทารกหากใช้ในขณะตั้งครรภ์สามารถทำให้เกิดความพิการได้ในอนาคต ได้แก่ ยา isotretinoin (Bourgault-Villada, 1998; Iinuma et al., 2011; Luk et al., 2013; Oprica et al., 2004, Khiali et al., 2018) นอกจากการรักษาด้วยยาแผนปัจจุบันที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีงานวิจัยการใช้พืชสมุนไพรหลายชนิดในการรักษาสิว เช่น ขมิ้น เปลือกมังคุด เป็นต้น เพื่อลดการระคายเคืองหรือผลข้างเคียงจากสารเคมี (Li et al., 2006, Lui et al., 2013, Udomsuppong etal., 2013)

ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีการนำเอาสารสกัดจากตรีผลา ประกอบไปด้วย ลูกสมอพิเภก (*Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb.) ลูกสมอไทย (*Terminalia chebula* Retz.) ลูกมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* Linn.) ซึ่งเป็นตำรับยาสมุนไพรไทยอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติต่างๆ มากมาย เช่น มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในลำไส้และแบคทีเรียในช่องปาก ช่วยเพิ่มคอลลาเจน (Srinagesh et al., 2012; Prabhakar et al., 2014; Ramesh et al., 2015) ปัจจุบันได้มีการนำยาตำรับตรีผลามาใช้ในรูปของผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างกว้างขวาง และที่สำคัญมีความปลอดภัยสูง ไม่มีผลข้างเคียงจากอดีตจนถึงปัจจุบันยังไม่มีการนำสารสกัดจากตรีผลา เพื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เจลล้างหน้า ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะศึกษาประโยชน์ในทางเครื่องสำอางของสารสกัดจากตรีผลาในการรักษาสิว เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรไทย รวมทั้งส่งเสริมให้กลุ่มประชาชนทั่วไปและผู้ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดธรรมชาตินำไปพัฒนาต่อไป

วิธีการวิจัย

การสกัดสารสำคัญจากตรีผลา

นำส่วนประกอบในตำรับตรีผลา ประกอบด้วยสมุนไพร 3 ชนิดได้แก่ ผลสมอไทย สมอภิเพก และมะขามป้อม เฉพาะเนื้อผลโดยหลักในการทำมาตรฐานสมุนไพรดังนี้

1. เลือกผลสมอไทย สมอภิเพก และมะขามป้อมทั้งลูกที่แก่เต็มที่ มีสภาพผลสมบูรณ์ ไม่มีเชื้อรา และไม่ผุพัง ปลูกในสวนที่จังหวัดสกลนครนำมาล้างให้สะอาด นำเฉพาะส่วนเนื้อผลไปผึ่งให้แห้ง เก็บวันที่ 10-15 ธันวาคม 2561 ณ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร
2. จากนั้นทำการตรวจเอกลักษณ์ทางเภสัชเวท ผู้ตรวจ โดยนักพฤษศาสตร์ชื่อนายพิเชษ วเชวิฐาน เก็บที่ห้องเภสัชกรรมไทย สาขาแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
3. นำเนื้อผลของสมอไทย สมอภิเพก และมะขามป้อม อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน จนกว่าผลสมุนไพรทั้งสามแห้ง
4. นำเนื้อผลของสมุนไพรทั้งสามมาบดให้ละเอียด
5. จากนั้นทำการเก็บผงสมุนไพรในถุงพลาสติกสูญญากาศ ปิดฉลากระบุชื่อสมุนไพร และวันที่เตรียม เก็บไว้ในตู้เก็บสารจนกว่าจะนำมาทำการทดลอง โดยเก็บไว้ที่สาขาแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดตำรับตรีผลา

1. นำผงสมุนไพรทั้งสามชนิด อย่างละ 5 กิโลกรัม มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:1:1 จากนั้นนำมาสกัดด้วย 95% ethanol ใส่ในขวดสีชา ปิดฝาให้มิดชิด ทำการหมักทิ้งไว้ 7 วัน
2. เมื่อครบระยะเวลาทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหย Rotary Evaporator ที่อุณหภูมิ60 องศาเซลเซียส คำนวณร้อยละของสารสกัดที่ได้รับ นำสารสกัดบรรจุขวดแก้วทึบแสง
3. เก็บในตู้แช่ที่ –20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้งาน

ศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *P. acnes* จากสารสกัดตรีผลา

1) การทดสอบหาบริเวณยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ด้วยวิธี Disc diffusion techniques

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี Disc Diffusion โดยดูจากค่า Inhibition zone (clear zone) โดยทำการเขี่ยเชื้อ *P. acnes* ที่ทำการปรับความหนาแน่นเท่ากับ $1x10^8$ CFU/ml โดยเทียบด้วย McFarland Standards NO. 0.5 ลงบนอาหาร 3.8% Mueller Hinton agar (MHA) นำ disc ที่มีสารสกัดความเข้มข้น 500 mg/mL (สารสกัดตรีผลา 500 มิลลิกรัม

ต่อน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 1 มิลลิลิตร) และยามาตรฐาน (Clindamycin 2 µg) วางบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำเชื้อไปบ่มในภาวะไม่มีออกซิเจน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และทำการวัด clear zone ที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยวัดหน่วยเป็นมิลลิเมตร ถ้ามี clear zone เกิดขึ้นแสดงว่าสมุนไพรนั้นสามารถยับยั้งเชื้อได้ (Hudzicki J., 2016)

2) การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Minimal inhibitory concentration, MIC) และการทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อ (Minimal bactericidal concentration, MBC) ด้วยวิธี Broth dilution technique

เติมอาหาร Mueller Hinton broth (MHB) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลง 96 well plate จากนั้นเจือจางสารสกัดแบบ two-fold dilution ที่ความเข้มข้น 500, 250, 125, 62.5, 31.25, 15.625 และ 7.8125 mg/mL จากนั้นเติมเชื้อ *P. acnes* ที่ทำการปรับความหนาแน่นเท่ากับ $1x10^8$ CFU/ml ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในแต่ละหลุม หลุมที่มียา Clindamycin เป็น positive control และหลุมที่ใส่เฉพาะเชื้อแบคทีเรียเป็น Negative control บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อในแต่ละหลุมมาเขี่ยลงใน Mueller Hinton agar (MHA) แล้วนำไป บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเติบโตของเชื้อ *P. acne* (MIC) โดยบันทึกความเข้มข้นในสารสกัดที่ต่ำสุดที่ไม่พบการเจริญของเชื้อ ซึ่งสังเกตจากหลุมที่ใสและหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าเชื้อ *P. acne* (MBC) โดยนำอาหารเหลวจากการทำ MIC มาทำการเขี่ย (steak) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่ไม่มีเชื้อเกิดขึ้นนั้น ถือว่าความเข้มข้นนั้นเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (minimum bactericidal concentration (MBC)) (Mounyr et al., 2016)

การตั้งตำรับเจลล้างหน้าจากตรีผลา

การตั้งสูตรเจลล้างหน้ารักษาสิวจากตรีผลา มีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ สร้างเนื้อเจล ปรับฟองนุ่ม สารให้ความชุ่มชื่นแก่ผิว สารชำระล้างความมัน ฆ่าเชื้อแบคทีเรียก่อโรคสิว รักษาสภาพของเนื้อเจล ละลายสารดังตารางที่ 1 และในการศึกษานี้ทำการตั้งตำรับเจลล้างหน้าตรีผลา 3 สูตรดังตารางที่ 2

ในการเตรียมเจลล้างหน้า เริ่มจากละลายสาร Hydroxy Ethyl Cellulose (HEC) ในน้ำอุ่น 25 มิลลิลิตร จนเกิดเนื้อเจลในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม Cocamido propyl Betain, propylene glycol, distilled water ลงใน HEC ผสมให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติม Sodium benzoate และสารสกัดตรีผลา จากนั้นผสมให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบในสูตรเจลล้างหน้ารักษาสิวจากตรีผลา

สารเคมี	ปริมาตร (กรัม)	หน้าที่ในตำรับ
Hydroxy Ethyl Cellulose (HEC)	0.7	สร้างเนื้อเจล
Cocamido propyl Betain	1.5	สารปรับฟองนุ่ม
Propylene glycon	1	สารให้ความชุ่มชื่นแก่ผิว
Ammonium Lauryl Sulfate	39	สารชำระล้างความมัน
Triphala extracts	1	ฆ่าเชื้อแบคทีเรียก่อโรคสิว
Sodium benzoate	1	รักษาสภาพของเนื้อเจล
Distill Water (DW)	เติมให้ครบ 100 มิลลิลิตร	เป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบในสูตรเจลล้างหน้ารักษาสิวจากตรีผลาทั้ง 3 สูตร

ส่วนประกอบในสูตร	สูตร 1 (control)	สูตร 2	สูตร 3
Hydroxy Ethyl Cellulose (HEC) (mL)	0.7	0.7	0.7
Cocamido propyl Betain (mL)	1.5	1.5	1.5
Propylene glycon (mL)	1	1	1
Ammonium Lauryl Sulfate (mL)	39	39	39
Triphala extracts (g)	-	1	2
Sodium benzoate (mL)	1	1	1
Distill Water (DW) (mL)	Add to 100 mL	Add to 100 mL	Add to 100 mL

ศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลลินทรีย์ของเจลล้างหน้าตรีผลา

การทดสอบหาบริเวณยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ด้วยวิธี agar well diffusion

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียด้วยวิธี agar well diffusion โดยดูจากค่า Inhibition zone โดยทำการเขี่ยเชื้อ *P. acnes* ที่ทำการปรับความหนาแน่นเท่ากับ $1x10^8$ CFU/ml โดยเทียบด้วย McFarland Standards NO. 0.5 ลงบนอาหาร 3.8% Mueller Hinton agar (MHA) และทำการเจาะรูอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยปลายด้านจับของ pasture pipette ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และเติมเจลล้างหน้าทั้ง 3 สูตร ปริมาตร 10 ไมโครลิตรลงในหลุม เทียบกับยามาตรฐาน (1% clindamycin) ปริมาตร 10 ไมโครลิตรและนำไปบ่มในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และทำการวัด Inhibition zone ที่เกิดขึ้น (Mounyr et al., 2016)

สถิติที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบ inhibition zone ของกลุ่มการทดลองเทียบกับกลุ่มยามาตรฐานโดยใช้สถิติ independent T-test กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) for window version 17.0 ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลชีพจากสารสกัดตรีผลา ด้วยวิธี disc diffusion method

จากการศึกษาผลของสารสกัดตรีผลาที่ความเข้มข้น 500 mg/mL ต่อเชื้อ *P. acne*)พบว่าสารสกัดตรีผลาที่ความเข้มข้น 500 mg/mL สามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ได้ เมื่อเทียบกับยามาตรฐาน (Clindamycin 2 µg) โดยวัดจากค่า inhibition zone ยามาตรฐานมีค่า inhibition zone เท่ากับ 16.23 ± 0.41 มิลลิเมตร สารสกัดตรีผลามีค่า inhibition zone เท่ากับ 13.20 ± 1.20 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกับยา clindamycin จากผลการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อพบว่าสารสกัดตรีผลาสามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ได้ดีเทียบเคียงกับยามาตรฐาน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า inhibition zone ของสารสกัดตรีผลาต่อเชื้อ *P. acne*

Herbal extracts	Zone of inhibition (mm)
Clindamycin (Positive control)	16.23 ± 0.41
Triphala extracts	13.20 ± 1.20*
Distill water (negative control)	6.00 ± 0.00*

หมายเหตุ เส้นผ่าศูนย์กลางของ paper disc มีค่าเท่ากับ 6.00 มิลลิเมตร (n=3 ~~ซ้ำ~~)

* $p < 0.05$ เมื่อเทียบกับ Clindamycin (Positive control)

ศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลชีพจากสารสกัดตรีผลา ด้วยวิธี broth dilution method

ผลการศึกษาหาความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ของสารสกัดตรีผลา (minimum inhibitory concentration; MIC) มีค่าเท่ากับ 31.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถฆ่าเชื้อ *P. acne*

(Minimum bactericidal concentration; MBC) ได้เท่ากับ 62.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วน Clindamycin มีค่า MIC และ MBC เท่ากับ 8 และ 128 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

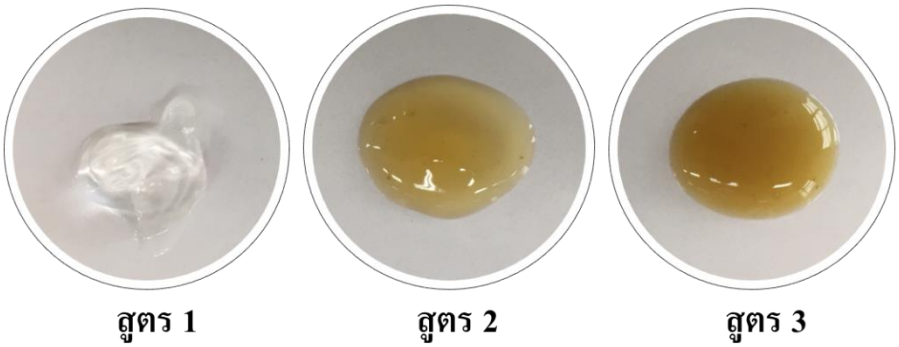
ลักษณะทางกายภาพของเจลล้างหน้าจากสารสกัดตรีผลา

การทดสอบลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เจลล้างหน้ารักษาสิวจากสารสกัดตรีผลา โดยดูลักษณะสี กลิ่น และความหนืด โดยเจลล้างหน้าทั้ง 3 สูตรมีลักษณะดังนี้

สูตร 1 เจลมีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนืดเล็กน้อย pH 7

สูตร 2 เจลล้างหน้าสารสกัดตรีผลามีลักษณะใส มีสีน้ำตาลอ่อน ไม่มีกลิ่น เนื้อเนียน มีความหนืดเล็กน้อย pH 6.5

สูตร 3 เจลล้างหน้าสารสกัดตรีผลามีลักษณะใส มีสีน้ำตาลเข้มเมื่อเทียบกับสูตร 2 ไม่มีกลิ่น เนื้อเนียน มีความหนืดเล็กน้อย pH 6.5 แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของเจลล้างหน้าตรีผลาทั้งสามสูตร

ผลการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *P. acne* ของเจลล้างหน้าตรีผลา ด้วยวิธี agar well diffusion

จากการศึกษาผลของของเจลล้างหน้าตรีผลาทั้ง 3 สูตรต่อเชื้อ *P. acne* พบว่าเจลล้างหน้าสูตร 2 และ 3 สามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ได้ เมื่อเทียบกับยามาตรฐาน (Clindamycin) โดยวัดจากค่า inhibition zone ยามาตรฐานมีค่า inhibition zone เท่ากับ 16.64 ± 0.23 มิลลิเมตร เจลล้างหน้าสูตร 2 และ 3 มีค่า inhibition zone เท่ากับ 12.13 ± 1.78 และ 15.24 ± 0.57 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 ไม่มีสารสกัดตรีผลาเป็นส่วนประกอบ มีค่า inhibition zone เท่ากับ 6.34 ± 0.56 มิลลิเมตร จากผลการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อพบว่าเจลล้างหน้าสูตร 3 สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคสิว (*P. acne*) ได้ดีเทียบเคียงกับยามาตรฐาน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า inhibition zone ของเจลล้างหน้าตรีผลาต่อเชื้อ *P. acne*

Herbal extracts	Zone of inhibition (mm)
Clindamycin (Positive control)	16.64 ± 0.23
สูตร 1	6.34 ± 0.56*
สูตร 2	12.13 ± 1.78*
สูตร 3	15.24 ± 0.57

หมายเหตุ เส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่เจาะอาหารเลี้ยงเชื้อ มีค่าเท่ากับ 6.00 มิลลิเมตร * p< 0.05 เมื่อเทียบกับ Clindamycin (Positive control) (n=3)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

สารสกัดตรีผลาที่ความเข้มข้น 500 mg/mL สามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ได้ เมื่อเทียบกับยามาตรฐาน (Clindamycin 2 µg) โดยวัดจากค่า inhibition zone และผลการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อพบว่าสารสกัดตรีผลาสามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ได้ดีเทียบเท่ากับยามาตรฐาน ผลการศึกษาหาความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *P. acne* ของตำรับตรีผลา (minimum inhibitory concentration; MIC) มีค่าเท่ากับ 31.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถฆ่าเชื้อ

P. acne (Minimum bactericidal concentration; MBC) ได้เท่ากับ 62.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่พบว่าสารสกัดสมุนไพรที่มีแทนนินเป็นส่วนประกอบหลัก สามารถยับยั้งและฆ่าเชื้อจุลลินทรีย์ได้หลายชนิด ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในลำไส้และแบคทีเรียในช่องปาก (Srinagesh et al., 2012; Prabhakar et al., 2014)

หลังจากทำการตั้งสูตรเจลล้างหน้าทั้ง สามสูตร และทำการทดสอบความคงสภาพทางกายภาพของเจลล้างหน้าจากตรีผลาด้วยประสาทสัมผัส พบว่าทั้งสามสูตรเนื้อเจลมีลักษณะใส ไม่มีกลิ่น มีความหนืดเล็กน้อย แต่สูตรที่ใส่สารสกัดตรีผลาจะมีสีน้ำตาลอ่อน ถึงเข้ม และหลังจากทำการทดสอบเจลล้างหน้าทั้ง 3 สูตรต่อเชื้อ *P. acne* พบว่าสูตรที่ 3 ที่มีปริมาณสารสกัดตรีผลา 2% นั้นมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อได้ดีกว่าสูตรอื่นๆ และมีผลใกล้เคียงกับยามาตรฐาน จากการศึกษานี้พบว่า เจลล้างหน้าจากสารสกัดตรีผลามีฤทธิ์ในการกำจัดเชื้อก่อโรคสิวได้ สารสกัดตรีผลานอกจากสามารถกำจัดเชื้อก่อโรคสิวแล้วยังมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ ป้องกันความเสื่อมของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย ช่วยเพิ่มคอลลาเจนได้อีกด้วย (Ashokkumar, 2007; Deep et al., 2005; Kumar et al., 2008) ดังนั้นการพัฒนาเจลล้างหน้าจากสารสกัดตรีผลาในครั้งนี้เป็นประโยชน์ในทางเครื่องสำอางของสารสกัดจากตรีผลาในการรักษาสิว เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรไทย รวมทั้งส่งเสริมให้กลุ่มประชาชนทั่วไปและผู้ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทอุดหนุนทั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2561 และขอบพระคุณสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่ให้ความสะดวกในการใช้อาคารสถานที่

เอกสารอ้างอิง

Ashokkumar D (2007) Pharmacognostical investigations on triphala churnam. Anc Sci Life 26: 40-44.

Bojar RA & Holland KT (2004) Acne and Propionibacterium acnes. Clin Dermatol 22: 375-9.

Bourgault-Villada I (1998) In vitro resistance of Propionibacterium acnes and *Staphylococcus epidermidis* to antibiotics: should our antibiotic prescription practices for the treatment of acne be changed?. Ann Dermatol Venereol 125: 879-80.

Deep G, Dhiman M, Rao AR & Kale RK (2005) Chemopreventive potential of Triphala (a composite Indian drug) on benzo(a)pyrene induced forestomach tumorigenesis in murine tumor model system. J Exp Clin Cancer Res 24: 555-63.

Hudzicki J (2012) Kirby-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol. American Society for Microbiology. 1-23.

Iinuma K, Noguchi N, Nakaminami H, Sasatsu M, Nishijima S & Tsuboi I (2011) Susceptibility of Propionibacterium acnes isolated from patients with acne vulgaris to zinc ascorbate and antibiotics. Clin Cosmet Investig Dermatol 4: 161-5.

Khiali S, Gharekhani A, Entezari-Maleki T (2018) Isotretinoin; A review on the Utilization Pattern in Pregnancy. Adv Pharm Bull. 8(3):377-382.

Kumar MS, Kirubanandan S, Sripriya R & Sehgal PK (2008) Triphala promotes healing of infected full-thickness dermal wound. J Surg Res 144: 94-101.

Li W, Zheng G, Cao Y, Wu C (2006) Study on inhibition effects of volatile oil from *Curcuma longa* on *Propionibacterium acne*. Zhongguo Meirong Yixue. 15(9):1062-3.

Liu C-H, Huang H-Y (2013) In vitro anti-propionibacterium activity by curcumin containing vesicle system. Chem Pharm Bull. 61(4):419-25.

Luk NM, Hui M, Lee HC, Fu LH, Liu ZH, Lam LY, Eastel M, Chan YK, Tang LS, Cheng TS, Siu FY, Ng SC, Lai YK & Ho KM (2013) Antibiotic-resistant Propionibacterium acnes among acne patients in a regional skin centre in Hong Kong. J Eur Acad Dermatol Venereol. 27:31-6.

Mounyr B, Moulay S, Saad KI (2016) Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. Journal of Pharmaceutical Analysis. 6(2):71-79.

Oprica C, Emtestam L, Lapins J, Borglund E, Nyberg F, Stenlund K, Lundeberg L, Sillerstrom E & Nord CE (2004) Antibiotic-resistant *Propionibacterium acnes* on the skin of patients with moderate to severe acne in Stockholm. Anaerobe. 10:155-64.

Prabhakar J, Balagopal S, Priya MS, Selvi S, Senthilkumar M (2014) Evaluation of antimicrobial efficacy of Triphala (an Indian Ayurvedic herbal formulation) and 0.2% chlorhexidine against *Streptococcus mutans* biofilm formed on tooth substrate: an in vitro study. Indian J Dent Res. 25(4):475-9.

Ramesh PS, Kokila T, Geetha D (2015) Plant mediated green synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles using *Emblica officinalis* fruit extract. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc. 5;142:339-43.

Srinagesh J, Krishnappa P, Somanna SN (2012) Antibacterial efficacy of triphala against oral streptococci: an in vivo study. Indian J Dent Res. 23(5):696.

Udomsuppong K, Kukhetpitakwong R (2013) Effect of mangosteen pericarp extracts against *Propionibacterium acnes*. IJPS. 8(1):245-9.

Williams HC, Dellavalle RP, Garner S (2012) Acnes vulgaris. The Lancet. 379, 361-372.

ฤทธิ์ในการยับยั้งของส่วนสกัดน้ำของเพกา มะขามป้อม มะแว้งต้น ตะไคร้ และพลูคาว ต่อการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 จากไมโครโซมของตับหนู

สุทธาสินี สุวรรณกุล[1] ณัฐกฤตา สาระ[2] ทิพยเนตร เกศไตรทิพย์[2] สุนิสา คำเขื่อนแก้ว[2],
ฐิติเดช ลือตระกูล[1] สุภารัตน์ จันทร์เหลือง[1] และเบญจภรณ์ เศรษฐบุปผา[1*]
[1] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2] นักศึกษาคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail: benjabhorn.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

บทนำ: ปัจจุบันมีการใช้สมุนไพรเพื่อรักษาโรคและบำรุงสุขภาพมากขึ้น ในการรับประทานสมุนไพรเหล่านั้นหากถูกเปลี่ยนแปลงในร่างกายโดยเอนไซม์ไซโตโครมพี 450 โดยเฉพาะ CYP3A4 จะมีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับยาแผนปัจจุบันตัวอื่นที่ใช้ร่วม ซึ่งถูกเปลี่ยนแปลงด้วยเอนไซม์นี้เช่นกัน งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งของส่วนสกัดของสมุนไพรเพกา มะขามป้อม มะแว้งต้น ตะไคร้ และพลูคาว ต่อการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 จากไมโครโซมของตับหนู วิธีดำเนินการวิจัย: การศึกษาฤทธิ์ของส่วนสกัดสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 โดยปฏิกิริยา testosterone 6β-hydroxylation และหาปริมาณ 6β-hydroxytestosterone ที่เกิดขึ้นด้วยวิธี HPLC เพื่อคำนวณเป็นร้อยละของการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 ผลการวิจัย: ส่วนสกัดน้ำของสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 ได้จากมากไปน้อย ดังนี้ มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) ร้อยละ 91.36 มะแว้งต้น (*Solanum indicum*) ร้อยละ 75.52 เพกา (*Oroxylum indicum*) ร้อยละ 73.50 ตะไคร้ (*Cymbopogon citrates*) ร้อยละ 72.16 และพลูคาว (*Houttuynia cordata Thunb*) ร้อยละ 64.78 สรุปผลการวิจัย: ผลการทดลองพบว่าส่วนสกัดน้ำของสมุนไพรทั้ง 5 ชนิด มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 จากไมโครโซมของตับหนูในระดับที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ไซโตโครมพี 450, เพกา, มะขามป้อม, มะแว้งต้น, ตะไคร้, พลูคาว

Effect of Aqueous Extract of *Oroxylum indicum* and Other 4 Thai Herbs on Rat Liver Microsomal CYP3A4 Activities

Suttasinee Suwannakul[1] Natthakritta Sara[2] Tippayanet Kettritip[2] Sunisa Kamkhuenkeaw[2]
Thitidaj Luetrakul[1] Suparat Chanluang[1] Benjabhorn Sethabouppha[1*]
[1] Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
[2] Student, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
*E-mail: benjabhorn.s@ubu.ac.th

Abstract

Introduction: The use of herbal supplements become more popular nowadays. Some herbal products are metabolized by cytochrome P450 (CYP) which can cause herb-drug interactions with the medications metabolized by that same CYP. This study aimed to investigate the inhibitory effect of 5 Thai herbal crude extracts on rat liver microsomal CYP3A4 activity. Materials and Method: The inhibitory effect of CYP3A4 was investigated by using testosterone as a specific CYP3A4 probe substrate. The amount of 6β-hydroxytestosterone obtained from the reaction with or without herbal crude extract was determined by using HPLC. Then the inhibitory effect was calculated as % inhibition. Results: The aqueous extract of 5 herbs inhibit CYP3A4 activity as followings; Makhampom (*Phyllanthus emblica*) 91.36%, Maweangton (*Solanum indicum*) 75.52%, Paeka (*Oroxylum indicum*) 73.50%, Takhrai (*Cymbopogon citrates*) 72.16%, and Plukaow (*Houttuynia cordata Thunb*) 64.78%. Conclusion: These results suggest that all 5 Thai herbs inhibit rat liver microsomal CPY3A4 activities in different degree.

Keywords: CYP3A4, *Oroxylum indicum*, *Phyllanthus emblica*, *Solanum indicum*, *Cymbopogon citrates*, *Houttuynia cordata Thunb*

บทนำ

ในปัจจุบันการนำสมุนไพรมาใช้เพื่อรักษาโรคและส่งเสริมสุขภาพได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ทั้งในรูปแบบการใช้เดี่ยว ๆ หรือการใช้ร่วมกับยาแผนปัจจุบัน (Tassaneeyakul et al. 2008) ดังมีรายงานการสำรวจการใช้ยาร่วมกับสมุนไพรในผู้ป่วยจิตเวช รพ.พระศรีมหาโพธิ์ จ.อุบลราชธานี จำนวน 138 รายพบว่าร้อยละ 26.8 มีการใช้สมุนไพรควบคู่ไปด้วย (Suwannakul et al. 2011) เป็นที่ทราบกันดีว่าในสมุนไพรนั้นประกอบไปด้วยสารเคมีที่มาจากธรรมชาติหลายชนิด ดังนั้นเมื่อสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย ก็จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย ซึ่งเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการนี้ คือ ไซโตโครมพี 450 (CYP) โดยเฉพาะ CYP3A4 ดังนั้นหากยาและสมุนไพรที่ใช้ร่วมกันถูกเปลี่ยนแปลงด้วยเอนไซม์เดียวกัน อาจมีโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้ มีตัวอย่างรายงานการวิจัยที่ทดสอบฤทธิ์การยับยั้ง CYP3A4 ของสมุนไพรชนิดต่าง ๆ เช่น เทียนดำ เทียนขาว โกฐสอ โกฐกระดูก (Sethabouppha et al. 2010, Sethabouppha and Suwannakul 2013, Sethabouppha and Suwannakul 2015, Suwannakul et al. 2012) ลูกใต้ใบ ปีบชุมเห็ดเทศ กระชายดำ ขิง หญ้าหนวดแมว ทองพันชั่ง (ส่วนราก) บัวบก (Tassaneeyakul et al. 2008) จึงควรมีการทดสอบฤทธิ์ของสมุนไพรไทยตัวอื่น ๆ ต่อการทำงานของเอนไซม์ Cytochrome P450 ให้มากยิ่งขึ้น สมุนไพรที่นำมาศึกษาได้แก่ 1) เพกา (*Oroxylum indicum*) ซึ่งมีสรรพคุณทางยาทุกส่วน เมล็ดใช้ต้มน้ำดื่มแก้ไอและขับเสมหะ และใช้เป็นยาระบาย เปลือกหรือแก่น มีสรรพคุณแก้ฟกช้ำ ช่วยสมานแผล สำหรับฝักอ่อน นิยมรับประทานเป็นผัก มีฤทธิ์ช่วยในการขับลม บำรุงธาตุ 2) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) ผลใช้แก้ไอ ขับเสมหะ ทำให้ชุ่มคอ 3) มะแว้งต้น (*Solanum indicum*) ผลใช้บำรุงน้ำดี รักษาโรคเบาหวาน แก้ไอ แก้เสมหะ แก้น้ำลายเหนียว แก้คอแห้ง ขับปัสสาวะ รักษาโรคทางไต และกระเพาะปัสสาวะ แก้โลหิตออกทางทวารหนัก ทวารเบา 4) ตะไคร้ (*Cymbopogon citrates*) ส่วนต้นและหัว มีฤทธิ์แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ แก้ปัสสาวะพิการ แก้นิ่ว แก้อาการขัดเบา 5) พลูคาว (*Houttuynia cordata* Thunb) เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก มีกลิ่นคาว หากรับประทานทั้งต้น จะมีฤทธิ์ขับปัสสาวะ ฝีบวมอักเสบ ปอดอักเสบ หูชั้นกลางอักเสบ และริดสีดวงทวาร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งของส่วนสกัดน้ำของสมุนไพร 5 ชนิด ได้แก่ เพกา (*Oroxylum indicum*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) มะแว้งต้น (*Solanum indicum*) ตะไคร้ (*Cymbopogon citrates*) และพลูคาว (*Houttuynia cordata* Thunb) ต่อการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 ในโครโมโซมที่เตรียมจากตับหนูในหลอดทดลอง โดยศึกษาจากปฏิกิริยา CYP3A4-mediated testosterone-6-hydroxylation

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมไมโครโซมจากตับหนู

นำตับหนูมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆแช่ใน buffer pH 7.4 นำไปปั่นด้วย homogenizer จนละเอียด จากนั้นนำไป centrifuge ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนที่เป็น supernatant ไป centrifuge ต่อ ที่ความเร็วรอบ 45,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 65 นาที จากนั้นนำส่วนที่เป็น pellets มากระจายใน buffer pH 7.4 และนำไป centrifuge ต่ออีกครั้งด้วยความเร็วรอบและเวลาเท่าเดิม แล้วนำส่วน pellets ที่ได้มากระจายอีกครั้งใน buffer pH7.4 แล้วนำไปปั่นครั้งสุดท้ายด้วย homogenizer แบ่งใส่ eppendorf และนำไปเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ -80°C (Hirunpanich et al. 2006)

2. การเตรียมส่วนสกัดของสมุนไพร

สมุนไพรทุกชนิด ซื้อจากร้านขายยาแผนโบราณในจังหวัดอุบลราชธานี บดสมุนไพร แล้วชั่งใส่หลอดทดลองชนิดละ 3 กรัม เติมน้ำปริมาตร 9 mL ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิทผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง (Sethabouppha et al. 2009)

3. การศึกษากระบวนการทางชีวเคมีโดยใช้ปฏิกิริยา testosterone-6-hydroxylation

ดัดแปลงจากรายงานการวิจัย (Hirunpanich et al. 2007 ; Usia T et al. 2006; Sethabouppha et al. 2015) ทำการทดสอบในหลอดทดลองซึ่งแต่ละหลอดประกอบไปด้วย buffer pH 7.4 สารละลายไมโครโซม สารมาตรฐาน testosterone จากนั้นเติมส่วนสกัดน้ำของสมุนไพรแต่ละชนิด ในแต่ละหลอด สำหรับส่วนสกัดน้ำสกัดฟ้าทะลายโจร และสารละลายของยา ketoconazole ใช้เป็น positive control เมื่อเติมสารต่างๆ ครบแล้ว เติม NADPH แล้ว ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบเวลาแล้วจึงเติม acetonitrile เพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นนำสารละลายที่ได้ ไปวิเคราะห์หาปริมาณ-β-hydroxy-testosterone ด้วย HPLC โดย HPLC condition ที่ใช้ คือ Column: C-18 reverse phase, Detected wavelength: 282 nm, Mobile phase: Methanol : Water

(50:50), Flow rate: 1 mL/min (Sethabouppha et al. 2009) นำพื้นที่ใต้กราฟของ -6β-hydroxy-testosterone ที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอดมาคำนวณหาร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 (Usia et al. 2006)

ผลการวิจัย

หลอดทดลองที่เติมส่วนสกัดสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดที่ทำการทดสอบ พบว่ามีปริมาณ 6β-hydroxytestosterone เกิดขึ้นน้อยกว่าในหลอดทดลองที่เป็นหลอดควบคุม นั่นคือเกิดการยับยั้งปฏิกิริยา testosterone 6β-hydroxylation หรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

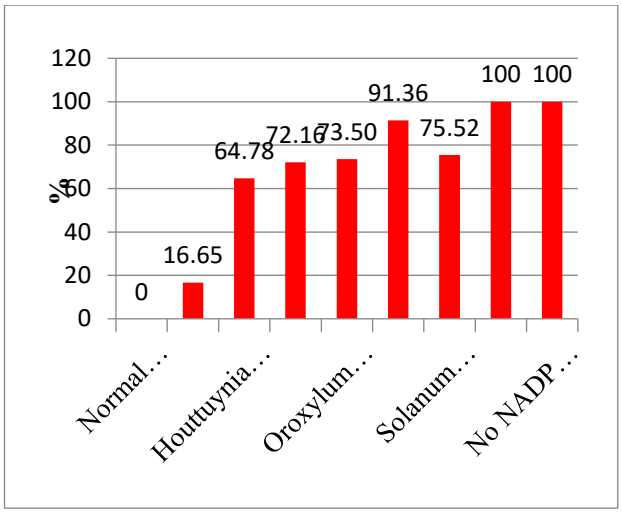
ตารางที่ 1 ฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 (%inhibition) ของส่วนสกัดน้ำของสมุนไพรที่ทดสอบ

สมุนไพรที่ทดสอบ	**ผลต่อการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4**	
	ร้อยละการยับยั้ง (%inhibition)	**RSD**
พลูคาว	64.78	0.338
ตะไคร้	72.16	0.432
เพกา	73.50	0.875
มะขามป้อม	91.36	0.751
มะแว้งต้น	75.52	0.578
ฟ้าทะลายโจร*	16.65	1.224

หมายเหตุ * ส่วนสกัดฟ้าทะลายโจร เป็น positive control

ผลการทดลองพบว่าหลอดทดลองที่เป็น positive control คือหลอดทดลองที่เติมส่วนสกัดฟ้าทะลายโจร และสารละลายยา ketoconazole ตรวจพบปริมาณ 6β-hydroxytestosterone น้อย/ไม่พบเลย เมื่อเทียบกับในหลอดทดลองที่ไม่เติมส่วนสกัดใด ๆ แสดงว่าเกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 สอดคล้องกับผลการทดลองที่มีรายงานก่อนหน้านี้ ว่าส่วนสกัดหยาบและสารสำคัญในฟ้าทะลายโจรชื่อ andrographolide มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของCYP3A4 (Pekthong et al. 2008) นอกจากนี้ฟ้าทะลายโจรยังมีผลต่อการทำงานของ P450 subfamily อื่นด้วย (Jarukamjorn et al. 2006)

จากข้อมูลในตารางที่ 1 ส่วนสกัดน้ำของสมุนไพรทั้ง 5 ชนิด สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 ในหลอดทดลองได้ เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) ยับยั้งได้ 91.36%, มะแว้งต้น (*Solanum indicum*) 75.52%, เพกา (*Oroxylum indicum*) 73.50%, ตะไคร้ (*Cymbopogon citrates*) 72.16%, และ พลูคาว (*Houttuynia cordata* Thunb) 64.78%.



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 (%inhibition) ของส่วนสกัดน้ำของสมุนไพร5 ชนิด (เพกา มะขามป้อม มะแว้งต้น ตะไคร้ และพลูคาว)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ส่วนสกัดน้ำของสมุนไพรที่ใช้ในการทดลองทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*), มะแว้งต้น (*Solanum indicum*), เพกา (*Oroxylum indicum*), ตะไคร้ (*Cymbopogon citrates*) และพลูคาว (*Houttuynia cordata Thunb*) มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 จากไมโครโซมของตับหนู โดยมีค่า % inhibition อยู่ในช่วง 64.78-91.36 %

สารสกัดสมุนไพรที่นำมาใช้ทดสอบมาจากการสกัดแบบ crude extract ดังนั้นฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 จึงเป็นผลมาจากสารหลายชนิดในสมุนไพรนั้นๆ ซึ่งหากจะทำการศึกษาในขั้นต่อไป ควรมีการแยกสกัดเป็นสารบริสุทธิ์แล้วจึงนำมาทดสอบ ซึ่งจะทำให้สามารถสรุปได้ว่าสารตัวใดในสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ CYP3A4 ได้

มีตัวอย่างที่สารสกัดจากใบแปะก๊วยยับยั้งผลของยาลดระดับน้ำตาลในเลือดซึ่งเป็นซับสเตรตของ CYP2C9 ได้แก่ tolbutamide เมื่อรับประทานร่วมกัน (Tassaneeyakul W et al. 2008) ดังนั้นข้อมูลด้านนี้จึงมีความสำคัญ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้นถึงฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ CYP3A4 ในหลอดทดลอง อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์และใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในระดับที่สูงขึ้นต่อไป เช่น การศึกษาแบบ in-vitro โดยใช้เอนไซม์ CYP3A4 จากมนุษย์ หรือการศึกษาแบบ in-vivo โดยทดลองในสัตว์ทดลองหรือในมนุษย์ เป็นต้น นอกจากนี้อาจมีการศึกษาผลของสมุนไพรเหล่านี้ต่อการทำงานของเอนไซม์ CYP450 ใน family และ subfamily อื่น ๆ ที่มีความสำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึมของยา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ กระทรวงศึกษาธิการ และคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนทุน วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่สำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Hirunpanich V, Sethabouppha B, and Sato H. Inhibitory Effects of saturated and polyunsaturated fatty acids on the cytochrome P450 3A activity in rat liver microsomes. Biol Pharm Bull. 2007 Aug; 30(8):1586-8.

Hirunpanich V, Sethabouppha B, Katagi J, and Sato H. Demonstration of docohexanoic acid as a bioavailability enhancer for CYP3A substrate: in vitro and in vivo evidence using cyclosporine in rats. Drug Metabolism and Disposition 2006; 34(2): 205-210.

Jarukamjorn K, Don-in K, Makejaruskul C, Laha T, Daodee S, Pearaksa P, Sripanidkulchai B. Impact of *Andrographis paniculata* crude extract on mouse hepatic cytochrome P450 enzymes. J of Ethnopharmacology 2006; 105(3): 464-467.

Pekthong D, Martin H, Abadie C, Bonet A, Heyd B, Mantion G, Richert L. Differential inhibition of rat and human hepatic cytochrome P450 by *Andrographis paniculata* extract and andrographolide. J of Ethnopharmacology 2008; 115(3): 432-440.

Sethabouppha B, Sappayanon B, Chinwuthiwong T, Polsombut T, Suwannakul S. Preliminary screening test for the effect of five Thai herbal extracts on rat CYP3A4 enzyme activity in vitro. Proceeding of the 6th indochina conference on pharmaceutical sciences: pharma indochina VI: the development of indochina pharmacy in the context of global economic recession; 2009 December 15-18; Hue City, Vietnam. Hue City: The College; 2009. p.492-5.

Sethabouppha B, Thitayarak P, Silaket P, Sangthong S, Treenert A, Suwannakul S. Inhibitory effect of Tiendam (*Nigella sativa* Linn.) extracts on CYP3A4 activity in-vitro. Proceeding of the NRCT-CPS conference V drug discovery: development of drug design-based pharmaceuticals; 2010 September 3-5; Rayong, Thailand.

Sethabouppha B, Suwannakul S. Inhibitory effect of Tien-Kao (*Cuminum cyminum* L.) extracts on CYP3A4 activity in-vitro. Proceeding of the first higher education research promotion congress (HERP CONGRES) I; 2013 January 21-23; Pitbulsongkram Rajabhat University, Pitsanulok, Thailand.

Sethabouppha B, Chanluang S, Lam LH, Suwannakul S. Screening of Thai plants for inhibition of CYP2D6 enzyme activity. Journal of Sciences and Technology Ubon Ratchathani University. 2015; 17(3):28-32.

Sethabouppha B, Suwannakul S. In vitro test of Kote-Sore (*Angelica dahurica* Benth) crude extracts on rat CYP3A4 enzyme activity. Proceeding of international conference on herbal and traditional medicine 2015; 2015 January 28-30; Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand.

Suwannakul S, Kumpangngam N, Panprom S, Watcharathanakij S, Sethabouppha B. Survey study of herbal medicine used in out-patients of Prasrimahabhodi psychiatric hospital, Thailand. Proceeding of the 7th indochina conference on pharmaceutical sciences: advancing pharmacy for ASEAN community; 2011 December 14-16; Bangkok, Thailand. Bangkok: Faculty of Pharmaceutical Sciences, Mahidol University; 2011. p.255-7.

Suwannakul S, Silaket P, Thitayarak P, Sangthong S, Treenert A, Sethabouppha B. Inhibitory effect of Kote-Kraduke (*Saussure alappa* C.B.Clarke) extracts on CYP3A4 activity in-vitro. Proceeding of the 4th annual northeast pharmacy research conference of 2012; 2012 February 11-12; Khon Kaen University, Thailand.

Usia T, Iwata H, Hiratsuka A, Watabe T, Kadota S, Tezuka Y. CYP3A4 and CYP2D6 inhibitory activities of Indonesian medicinal plants. Phytomedicine 2006; 13(1-2): 67-73.

Tassaneeyakul W, Dumrongsakunchai W, Tassaneeyakul W. Herb and drug interaction. Srinagarind Medical Journal 2008; 23(2): 223-228.

พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบ บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด

ปวีณา ลิมปิทีปราการ*[1] และ อธิวัฒน์ แสงเสวก[1]
[1]กลุ่มวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
Email: pawena.l@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบ บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด โดยการสุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบแบบเจาะจง จำนวน 144 คน เก็บรวบรวมข้อมูลในธันวาคม พ.ศ.2561 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Spearman's rank correlation coefficient ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับดี ร้อยละ 97.2 โดยมีความรู้มากที่สุด ในเรื่องเมื่อมีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหกรดเสื้อผ้าต้องเปลี่ยนเสื้อผ้าชุดใหม่ทันที และการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต้องอยู่บริเวณเหนือลมเสมอ ร้อยละ 100 ความรู้ที่ยังรู้ไม่ถูกต้อง คือ ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหนึ่งชนิดต่อการฉีดพ่นหนึ่งครั้ง ร้อยละ 17.4 ส่วนทัศนคติในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 97.2 โดยมีทัศนคติที่มีความเห็นเหมาะสม คือ ควรอาบน้ำเปลี่ยนเสื้อผ้าใหม่ทันทีหลังจากการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทุกครั้ง ร้อยละ 100 ทัศนคติที่ยังมีความเห็นไม่เหมาะสม คือ การฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชขณะมีลมพัดแรงสามารถทำได้ ร้อยละ 13.9 สำหรับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช อยู่ในระดับดี ร้อยละ 99.3 โดยมีพฤติกรรมที่เหมาะสม ในเรื่องการตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือก่อนการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 100 พฤติกรรมที่ยังไม่เหมาะสม คือ ยังมีการผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายๆชนิดในถังเดียวพร้อมกัน ร้อยละ 22.9 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า ความรู้มีความสัมพันธ์ทางบวกกับทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r_s=0.631, p<0.001 และ r_s=0.728, p<0.001 ตามลำดับ) นอกจากนี้ทัศนคติมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r_s=0.748, p<0.001) ดังนั้น เกษตรกรผู้ปลูกยาสูบควรได้รับการอบรมให้ความรู้เพิ่มเติมในด้านการเตรียม การฉีดพ่น การจัดเก็บทำความสะอาด การทำลายซากภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงอันตรายของสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ว่าหากมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ไม่เหมาะสมจะทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพได้

คำสำคัญ : สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พฤติกรรมการป้องกันอันตราย ผู้ปลูกยาสูบ

Preventive Behavior of Pesticide Use Among Tobacco Growers in Ban Pasang Pasang Sub-district, Chatuphak Phiman District, Roi Et Province

Pawena Limpiteeprakan*[1] and Athiwat Sangsawek[1]
[1]Public Health Devision, College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University
*Email: pawena.l@ubu.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the knowledge, attitudes and behaviors of preventing pesticide use among tobacco growers in Ban Pa Sang, Pa Sang Sub-district, Chaturaphak Phiman District. Roiet. A sample of 144 people were interviewed by questionnaire during November - December 2018. Data was analyzed using descriptive statistics and Spearman's rank correlation coefficient at significance level 0.05. The research found that the sample group had good knowledge of how to avoid the dangers of using pesticides and chemicals at a level of 97.2 percent. This included knowing that when pesticide chemicals were spilled on clothing, it must

be replaced immediately. Also the spraying of pesticides must always be with the wind blowing from behind. The knowledge that it was not correct to spray more than one type of pesticide at a time was 17.4 percent. The appropriate attitude is to wash and change clothes immediately after spraying pesticides was 100 percent. The opinion that was inappropriate was to spray pesticides while the wind was blowing at 13.9 percent. The preventive behavior of using pesticides was good at 99.3 percent with appropriate behavior around the examination of equipment before spraying at 100 percent. The incorrect behavior of mixing many pesticides in a single tank at the same time was at 22.9 percent. The relationship analysis found that knowledge had a positive relationship with attitude and preventive behaviors of pesticide use with statistically significant (r_s = 0.631, p <0.001 and r_s = 0.728, p <0.001, respectively). In addition, the attitude was positively correlated with preventive behaviors of pesticide use hazards with statistically significant (r_s = 0.748, p <0.001). Therefore, tobacco growers should be trained to increase their knowledge of the preparation before spraying and the storage, cleaning and destruction of pesticide containers from related agencies in order to be aware of the dangers of pesticides and using chemicals which will be harmful to their health if their behavior is inappropriate.

Keywords : Pesticide, Preventive Behaviors, Tobacco Growers

บทนำ

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรม อาชีพหลักของประชาชนคือเกษตรกรรม และมีการส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารเป็นหลัก มีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรทั้งประเทศประมาณ 149.24 ล้านไร่ สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรมากที่สุด คือ 63.85 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพในปริมาณมาก รวมทั้งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ทันเวลาตรงกับความต้องการของตลาดเพื่อให้ได้ราคาสูง หากเกษตรกรขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องเหมาะสม อาจทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนและแพร่กระจายของสารเคมีในดินและแหล่งน้ำ ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของเกษตรกร โดยทั่วไปสารเคมีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่ ทางการหายใจ ทางผิวหนังและทางปาก เกษตรกรผู้ใช้สารเคมีมีโอกาสสูงที่จะได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางผิวหนังและทางการหายใจ ทั้งนี้เพราะในการฉีดพ่นนอกจากสารจะตกลงสู่พืชผักแล้ว ละอองของสารเคมีจะปลิวปะปนไปในอากาศ สัมผัสกับร่างกายผู้ฉีดพ่น และตกลงบนพื้นดินและแหล่งน้ำได้ (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข, 2553) จากรายงานสถานการณ์โรคและภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ.2560 มีเกษตรกรที่ได้รับการตรวจคัดกรองความเสี่ยงด้วยกระดาษ Reactive paper จำนวนทั้งสิ้น 251,794 คน เป็นผู้ที่มีผลการตรวจเลือดเสี่ยงหรือไม่ปลอดภัย จำนวน 71,575 คน คิดเป็นร้อยละ 28.47 จาก 76 จังหวัด และพบผู้ป่วยโรคจากพิษสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจำนวน 10,312 ราย คิดเป็นอัตราป่วยเท่ากับ 17.12 ต่อประชากรแสนราย ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2559 ที่พบผู้ป่วยจำนวน 8,689 ราย โดยพบอัตราป่วยสูงสุดในกลุ่มอาชีพผู้ปลูกพืชไร่และพืชผัก จำนวน 5,344 ราย คิดเป็นร้อยละ 51.82 (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข, 2560)

จะเห็นได้ว่าเกษตรกรผู้ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เป็นกลุ่มคนที่มีความเสี่ยงทางสุขภาพที่จะเกิดโรคจากการทำงานสูงมาก เนื่องจากลักษณะการทำงานต้องสัมผัสกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ทำให้มีโอกาสป่วยด้วยโรคพิษสารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างเฉียบพลัน และในระยะยาวสารเคมีจะเข้าไปทำลายระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆ จากการศึกษาของ สิริภัณฑ์กัญญาเรืองไชย (2553) เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบในตำบลลำห้วยหลัว อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า เกษตรกรมีอาการทางสุขภาพที่พบมากที่สุดภายหลังการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช คือ วิงเวียนศีรษะ ร้อยละ 61.82 รองลงมา คือ อาการปวดศีรษะ ร้อยละ 56.36 โดยเกษตรกรส่วนใหญ่จะปล่อยให้หายเอง ช่องทางการได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเข้าสู่ร่างกายพบว่าร้อยละ 65.45 ผ่านทางการหายใจ มีเกษตรกรร้อยละ 9.09 ยังใช้มือเปล่าผสมสารเคมี และร้อยละ 3.64 ไม่ล้างมือทุกครั้งก่อนรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำหลังการฉีดพ่น และร้อยละ 3.64 ยังมีการใช้ปากเป่าหัวฉีดพ่น (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข, 2560)

บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด ก็เป็นอีกหมู่บ้านหนึ่งที่ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ได้แก่ การเพาะปลูกข้าว และหลังเก็บฤดูเกี่ยวก็มีการปลูกพืชไร่เป็นอาชีพเสริม ได้แก่ ยาสูบพันธุ์เตอร์กิส

ต้นหอม เป็นต้น ซึ่งเกษตรกรกลุ่มนี้ก็ยังมีการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงและศัตรูพืชเป็นจำนวนมาก (โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลป่าสังข์, 2559) ในการเพาะปลูกยาสูบตั้งแต่การเตรียมดินจนถึงการเก็บเกี่ยวจะต้องใช้สารเคมีหลายชนิด เช่น โคลมาโซน เมธาแลคซิล อิมิดาคลอพริด อีมาเมกตินเบนโซเอต อะซาดิแรกทริน เป็นต้น เพื่อใช้ในการป้องกันแมลงศัตรูพืชและโรคต่าง ๆ ของยาสูบ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่นี้จึงมีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงตัวเกษตรกรเองโดยตรง ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงความรู้ ทัศนคติและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบที่บ้านป่าสังค์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรพักตรพิมาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและใช้เป็นแนวทางในการป้องกันอันตรายหรือลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคพิษจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในพื้นที่ รวมถึงลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปนเปื้อนของสารเคมีต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. **รูปแบบการวิจัย**

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive research)

2. **ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

ประชากร คือ เกษตรกรผู้ปลูกยาสูบที่อาศัยอยู่บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด เก็บข้อมูลในกลุ่มประชากรทั้งหมด 144 คน จากรายงานการสำรวจเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบในตำบลป่าสังข์ ปี 2559 ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลป่าสังข์

3. **เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา**

เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถาม ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป จำนวน 13 ข้อ

ส่วนที่ 2 ความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เป็นลักษณะคำถามตอบถูกหรือผิด จำนวน 10 ข้อ มีหลักเกณฑ์การให้คะแนน คือ ตอบถูก ได้ 1 คะแนน และตอบผิด ได้ 0 คะแนน โดยมีคะแนนความรู้ทั้งหมดรวม 10 คะแนน การแปลผลคะแนนความรู้แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ

ระดับดี หมายถึง ได้คะแนน 8 – 10 คะแนน
ระดับปานกลาง หมายถึง ได้คะแนน 6 -7 คะแนน
ระดับควรปรับปรุง หมายถึง ได้คะแนน 0 - 5 คะแนน

ส่วนที่ 3 ทัศนคติในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เป็นลักษณะคำถามแบบประเมินค่า จำนวน 10 ข้อ แบ่งเป็นคำถามเชิงบวกจำนวน 3 ข้อ และคำถามเชิงลบจำนวน 7 ข้อ มีหลักเกณฑ์การให้คะแนน คือ เห็นด้วย ได้ 2 คะแนน ไม่แน่ใจ ได้ 1 คะแนน และไม่เห็นด้วย ได้ 0 คะแนน โดยมีคะแนนทัศนคติทั้งหมดรวม 20 คะแนน การแปลผลคะแนนทัศนคติ 3 ระดับ คือ

ระดับดี หมายถึง ได้คะแนน 14 – 20 คะแนน
ระดับปานกลาง หมายถึง ได้คะแนน 7 – 13 คะแนน
ระดับควรปรับปรุง หมายถึง ได้คะแนน 0 – 6 คะแนน

ส่วนที่ 4 พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร เป็นแบบสอบถามปลายปิด จำนวน 30 ข้อ แบ่งเป็นคำถามเชิงบวกจำนวน 20 ข้อ และคำถามเชิงลบจำนวน 10 ข้อ มีหลักเกณฑ์การให้คะแนน คือ ปฏิบัติทุกครั้ง ได้ 2 คะแนน ปฏิบัติบางครั้ง ได้ 1 คะแนน และไม่ปฏิบัติเลย ได้ 0 คะแนน โดยมีคะแนนพฤติกรรมทั้งหมดรวม 60 คะแนน การแปลผลคะแนนพฤติกรรม 3 ระดับ คือ

ระดับดี หมายถึง ได้คะแนน 40 – 60 คะแนน
ระดับปานกลาง หมายถึง ได้คะแนน 20 – 39 คะแนน
ระดับควรปรับปรุง หมายถึง ได้คะแนน 0 – 19 คะแนน

4. **การวิเคราะห์ข้อมูล**

ข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา การได้รับความรู้เรื่องการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช แหล่งข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประวัติเจ็บป่วยด้วยการรับพิษจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช อาการที่เจ็บป่วยหรือเคยแพ้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ความรู้ ทัศนคติ และ พฤติกรรมในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช วิเคราะห์ข้อมูลโดยการแจกแจงความถี่ และร้อยละ

ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ อายุ ขนาดพื้นที่ทำเกษตรกรรม รายได้ของเกษตรกรต่อปี ระยะเวลาในการประกอบอาชีพเกษตรกรรม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่ามัธยฐาน P_{25}, P_{75} ค่าต่ำสุด และ ค่าสูงสุด

การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรม ใช้สถิติ Spearman's rank correlation test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 54.2 มีค่ามัธยฐานของอายุที่ 48 ปี (P_{25} = 43, P_{75} = 55) สถานภาพอยู่เป็นคู่มากที่สุด ร้อยละ 95.1 จบการศึกษาระดับประถมศึกษามากที่สุด ร้อยละ 45.8 ค่ามัธยฐานของรายได้อยู่ที่ 35,000 บาทต่อปี (P_{25} = 30,000 , P_{75} = 60,000) ระยะเวลาในการประกอบอาชีพปลูกยาสูบมีค่าค่ามัธยฐานค่ามัธยฐาน 15 ปี (P_{25} = 5, P_{75} = 23.75) พื้นที่เพาะปลูกยาสูบมีค่ามัธยฐาน 3 ไร่ (P_{25} = 2, P_{75} = 5) มีการตรวจสุขภาพประจำปี ร้อยละ 97.2 เคยได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชร้อยละ 100 โดยได้รับจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมากที่สุด ร้อยละ 87.5 มีผู้ที่เคยมีประวัติแพ้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 1.4 มีอาการแพ้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชมากที่สุด คือปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ปวดศีรษะ วิงเวียน และผื่นคันตามผิวหนัง

ตารางที่ 1 แสดงจำนวน และร้อยละ ความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (N=144)

ความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช	ตอบถูก	
	จำนวน	ร้อยละ
1. ควรฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหนึ่งชนิดต่อการฉีดพ่นหนึ่งครั้ง	119	82.6
2. การผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะต้องผสมในที่โล่งแจ้งเสมอ	142	98.6
3. เมื่อมีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหกรดเสื้อผ้าในขณะผสม ต้องเปลี่ยนเสื้อผ้าชุดใหม่ทันที	144	100
4. การยืนฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต้องอยู่บริเวณเหนือลม	144	100
5. สารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางผิวหนัง ทางการหายใจ และทางปาก	142	98.6
6. เมื่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดนผิวหนังให้ล้างน้ำสะอาดทันที	142	98.6
7. การฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในเวลาเที่ยง ทำให้สารเคมีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้	141	97.9
8. การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ไม่ถูกต้องสามารถทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้	136	94.4
9. ภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้ว ไม่สามารถนำไปบรรจุน้ำหรือสิ่งอื่นๆได้	132	91.7
10. สารเคมีที่ตกค้างในร่างกายไม่สามารถรักษาเองได้โดยการซื้อยามารับประทานเอง	136	94.4

จากตารางที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชมากที่สุด คือ เมื่อมีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหกรดเสื้อผ้าต้องเปลี่ยนเสื้อผ้าชุดใหม่ทันที และ การฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต้องอยู่บริเวณเหนือลมเสมอ ตอบถูกร้อยละ 100 รองลงมา คือ การผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะต้องผสมในที่โล่งแจ้งเสมอ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางผิวหนัง ทางการหายใจ และทางปาก และเมื่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดนผิวหนังให้ล้างน้ำสะอาดทันที ตอบถูกร้อยละ 98.6 ส่วนเรื่องที่มีความรู้น้อยที่สุด คือ ควรฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหนึ่งชนิดต่อการฉีดพ่นหนึ่งครั้ง ตอบถูกร้อยละ 82.6 ภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้ว ไม่สามารถนำไปบรรจุน้ำหรือสิ่งอื่นๆได้ ตอบถูกร้อยละ 91.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงจำนวน และร้อยละ จำแนกตามระดับความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (N=144)

ความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช		จำนวน	ร้อยละ
ดี	(8 – 10 คะแนน)	140	97.2
ปานกลาง	(6 -7 คะแนน)	4	2.8
รวม		144	100

(Median = 7, ค่า P_{25} = 9, ค่า P_{75} = 10)

จากตารางที่ 2 ความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของกลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 97.2 มีความรู้อยู่ในระดับดี (Median = 7, ค่า P_{25} = 9, ค่า P_{75} = 10)

ตารางที่ 3 แสดงจำนวน และร้อยละ ทัศนคติในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (N=144)

ทัศนคติในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช	จำนวน (ร้อยละ)		
	เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
1. การเลือกซื้อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมกับศัตรูพืช ทำให้ได้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูง	125 (86.8)	-	19 (13.2)
2. การเลือกใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ไม่จำเป็นต้องอ่านฉลากให้เข้าใจทุกครั้ง*	4 (2.8)	-	140 (97.2)
3. การผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดเข้าด้วยกัน สามารถกำจัดศัตรูพืชได้มากขึ้น*	5 (3.5)	14 (9.7)	125 (86.8)
4. การใช้มือคนผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยตรงได้ไม่เป็นอันตราย*	-	4(2.8)	140 (97.2)
5. การหยุดฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชขณะมีลมพัดแรง จำเป็นต้องทำทุกครั้ง	124 (86.1)	-	20 (13.9)
6. การฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถฉีดพ่นช่วงเวลาไหนก็ได้ไม่เป็นอันตราย*	-	8 (5.6)	136 (94.4)
7. การสวมใส่ชุดเสื้อผ้าที่มิดชิดขณะฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ไม่จำเป็นต้องทำทุกครั้ง*	12 (8.3)	-	132 (91.7)
8. หลังจากการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทุกครั้ง ควรอาบน้ำเปลี่ยนเสื้อผ้าใหม่ทันที	144 (100)	-	-
9. สามารถเก็บสารเคมีกำจัดศัตรูพืชไว้ในบ้านรวมกันกับของใช้อื่นได้ไม่เป็นอันตราย*	-	4 (2.8)	140 (97.2)
10. การนำภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปใช้ต่อไม่มีอันตราย*	2 (1.4)	2 (1.4)	140 (97.2)

* คำถามเชิงลบ

จากตารางที่ 3 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีทัศนคติในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ที่ถูกต้องมากที่สุด คือ ควรอาบน้ำเปลี่ยนเสื้อผ้าใหม่ทันทีหลังจากการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทุกครั้ง ร้อยละ 100 รองลงมา คือ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชต้องอ่านฉลากให้เข้าใจทุกครั้ง การใช้มือเปล่าคนผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยตรงนั้นเป็นอันตรายต่อร่างกาย การเก็บสารเคมีกำจัดศัตรูพืชไม่สามารถเก็บรวมกันกับของใช้อื่นภายในบ้านได้ และการนำภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปใช้ต่อนั้นเป็นอันตราย ร้อยละ 97.2 ส่วนข้อที่มีทัศนคติที่ถูกต้องน้อยที่สุด คือ การไม่ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชขณะมีลมพัดแรง ร้อยละ 86.1 การเลือกซื้อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมกับศัตรูพืชทำให้การกำจัดศัตรูพืชมีประสิทธิภาพสูง และการผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดเข้าด้วยกันนั้นอาจทำให้เกิดอันตราย ร้อยละ 86.8

ตารางที่ 4 แสดงจำนวน และร้อยละ จำแนกตามระดับทัศนคติในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (N=144)

ทัศนคติในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช		จำนวน	ร้อยละ
ดี	(14 – 20 คะแนน)	140	97.2
ปานกลาง	(7 – 13 คะแนน)	4	2.8
รวม		144	100

(Median = 20, ค่า P_{25} = 19, ค่า P_{75} = 20)

จากตารางที่ 4 ทัศนคติในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของกลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 97.2 มีทัศนคติอยู่ในระดับดี (Median = 20, ค่า P_{25} = 19, ค่า P_{75} = 20)

ตารางที่ 5 แสดงจำนวน และร้อยละ พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร (N=144)

พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	จำนวน (ร้อยละ)		
	ปฏิบัติทุกครั้ง	ปฏิบัติบางครั้ง	ไม่ปฏิบัติเลย
พฤติกรรมก่อนใช้สารเคมี			
1. ศึกษาชนิดของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมกับชนิดของแมลงศัตรูพืช	138 (95.8)	6 (4.2)	-
2. อ่านคำแนะนำจนเข้าใจก่อนใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	138 (95.8)	1 (0.7)	5 (3.5)
3. ใช้ปากเปิดขวด/ซองบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืช*	-	1 (0.7)	143 (99.3)
4. ผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในบริเวณที่โล่งแจ้ง	120 (83.3)	22 (15.3)	2 (1.4)
5. ผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ในฉลาก	138 (95.8)	4 (2.8)	2 (1.4)
6. ใช้เครื่องมือชั่ง ตวง วัดปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชก่อนการผสม	126 (87.5)	12 (8.3)	6(4.2)
7. ใช้มือเปล่าในการคนสารเคมีกำจัดศัตรูพืช*	2(1.4)	3(2.1)	139 (96.5)
8. สวมถุงมือขณะหยิบจับสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช	135 (93.8)	9 (6.3)	-
9. ผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายๆชนิดในถังเดียวพร้อมกัน*	-	33 (22.9)	111 (77.1)
10. ตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือก่อนการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช	144 (100)	-	-
พฤติกรรมขณะใช้สารเคมี			
11. สวมเสื้อผ้ามิดชิด เพื่อป้องกันละอองสารเคมี	141 (97.9)	3 (2.1)	-
12. สวมรองเท้าบู๊ทขณะพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช	143 (99.3)	1 (0.7)	-
13. สวมผ้าปิดปาก/ปิดจมูกขณะพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช	141 (97.9)	1 (0.7)	2(1.4)
14. ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในช่วงเช้าหรือช่วงเย็น	127 (88.2)	15(10.4)	2 (1.4)
15. ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในขณะที่ลมสงบ	139 (96.5)	5 (3.5)	-
16. เมื่อมีลมแรงต้องหยุดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทันที	140 (97.2)	3 (2.1)	1 (0.7)
17. เมื่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเปื้อนร่างกายขณะฉีดพ่น ต้องทำความสะอาดร่างกายทันที	143 (99.3)	1 (0.7)	-
18. ใช้ปากเป่าหรือดูดหัวฉีดพ่นสารเคมี เมื่อมีสิ่งอุดตันหัวฉีดพ่น*	-	5 (3.5)	139 (96.5)

พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	จำนวน (ร้อยละ)		
	ปฏิบัติทุกครั้ง	ปฏิบัติบางครั้ง	ไม่ปฏิบัติเลย
19. หยุดพักสูบบุหรี่ หรือดื่มน้ำในระหว่างฉีดพ่นสารเคมี*	-	3 (2.1)	141 (97.9)
20. เวลาที่หยุดพัก ไม่ควรอยู่ใกล้บริเวณที่ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช*	-	26 (18.1)	118 (81.9)
พฤติกรรมหลังใช้สารเคมี			
21. อาบน้ำและสระผมทันทีหลังการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช	137 (95.1)	7 (4.9)	-
22. ซักเสื้อผ้าที่ใช้สวมใส่หลังการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทันที	141 (97.9)	3 (2.1)	-
23. เปลี่ยนเสื้อผ้าชุดใหม่หลังการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทันที	143 (99.3)	1 (0.7)	-
24. ล้างภาชนะหรืออุปกรณ์ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชลงในแม่น้ำ ลำคลอง บ่อน้ำ*	4 (2.8)	3 (2.1)	137 (95.1)
25. ล้างภาชนะหรืออุปกรณ์ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชให้สะอาดก่อนเก็บ	125 (86.8)	19 (13.2)	-
26. เก็บสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและอุปกรณ์ในที่ปลอดภัย ห่างจากเด็กและสัตว์เลี้ยง	141 (97.9)	1 (0.7)	2 (1.4)
27. ทุบทำลายภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้ว*	5 (3.5)	6 (4.2)	133 (92.4)
28. ทิ้งภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้วลงในหลุมแล้วกลบฝังดินมิดชิด	134 (93.1)	10 (6.9)	-
29. เผาภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ทำจากพลาสติก*	1 (0.7)	2 (1.4)	141 (97.9)
30. เผาภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีความดันภายในขวด*	1 (0.7)	-	143 (99.3)

* คำถามเชิงลบ

จากตารางที่ 5 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรที่ถูกต้องมากที่สุด คือ การตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือก่อนการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 100 รองลงมา คือ การสวมรองเท้าบูทขณะพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช การทำความสะอาดร่างกายทันทีเมื่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเปื้อนร่างกายขณะฉีดพ่น การเปลี่ยนเสื้อผ้าชุดใหม่หลังการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทันที และการไม่เผาภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีความดันภายในขวด ร้อยละ 99.3 ส่วนข้อที่มีพฤติกรรมที่ยังไม่ถูกต้องมากที่สุดคือ การผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายๆชนิดในถังเดียวพร้อมกัน ร้อยละ 77.1 การอยู่ใกล้บริเวณที่ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชขณะหยุดพัก ร้อยละ 81.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 แสดงจำนวน และร้อยละ จำแนกตามระดับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร (N = 144)

พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	จำนวน	ร้อยละ
ดี (40 – 60 คะแนน)	143	99.3
ปานกลาง (20 – 39 คะแนน)	1	0.7
รวม	144	100

(Median = 60, ค่า P_{25} = 57, ค่า P_{75} = 60)

จากตารางที่ 6 พฤติกรรมในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของกลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 99.3 มีพฤติกรรมอยู่ในระดับดี (Median = 60, ค่า P_{25} = 57, ค่า P_{75} = 60)

ตารางที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ กับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร (N = 144)

	ความรู้	ทัศนคติ	พฤติกรรม
ความรู้	-	r_s = 0.631, P-value < 0.001	r_s = 0.728, P-value < 0.001
ทัศนคติ	-	-	r_s = 0.748, P-value < 0.001

จากตารางที่ 7 พบว่า ความรู้มีความสัมพันธ์กับทัศนคติต่อการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในทิศทางแปรตามกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.01) ด้วยค่าสหสัมพันธ์เชิงเดียว เท่ากับ 0.631 ความรู้มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในทิศทางแปรตามกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.01) ด้วยค่าสหสัมพันธ์เชิงเดียว เท่ากับ 0.728 และทัศนคติมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในทิศทางแปรตามกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.01) ด้วยค่าสหสัมพันธ์เชิงเดียว เท่ากับ 0.748

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบ บ้านป่าสังข์ ตำบลป่าสังข์ อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด พบว่า เกษตรกรมีความรู้ในการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 97.2 อาจเนื่องมาจากเกษตรกรส่วนใหญ่เคยได้ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมาจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ประกอบกับประสบการณ์ในการปลูกยาสูบ ที่ส่วนใหญ่ปลูกมาแล้วกว่า 15 ปี จึงส่งผลให้เกษตรกรมีความรู้ที่ดี และนำไปสู่การมีทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับดีตามไปด้วย

ในส่วนของความรู้เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่า เกษตรกรยังมีความรู้ความเข้าใจน้อยในเรื่อง การฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชว่าการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชควรฉีด 1 ชนิดต่อหนึ่งครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุนิสา ชายเกลี้ยง และคณะ (2556) ที่พบว่าเกษตรกรมีความรู้น้อยที่สุดในเรื่องสารกำจัดศัตรูพืชทุกชนิดสามารถนำมาผสมกันได้ ร้อยละ 69.1 อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีก็สามารถใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายๆชนิดผสมใช้ร่วมกันได้ แต่ต้องแน่ใจว่าผสมอย่างถูกต้องได้สัดส่วนอย่างเหมาะสม เพราะหากมีการผสมกันมากกว่าหนึ่งชนิด โดยไม่มีการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมจะส่งผลให้การในการฉีดพ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชไม่มีประสิทธิภาพหรือมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ไม่ถูกต้องสามารถทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ นอกจากนั้นการมีความรู้ความเข้าใจน้อยในเรื่องการห้ามนำภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้วนำมาไปบรรจุน้ำหรือสิ่งอื่นๆ โดยเชื่อว่าการล้างทำความสะอาดภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชแล้วจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ ซึ่งการกำจัดที่ถูกวิธีคือ ควรล้างภาชนะบรรจุสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ใช้แล้ว 3 ครั้ง และเจาะทำลายภาชนะบรรจุที่เป็นพลาสติกเพื่อไม่ให้มีการนำไปใช้ใหม่ แล้วให้ทำการเก็บรวบรวมไว้ในสถานที่เก็บที่มิดชิดก่อนนำไปทำลายโดยกระบวนการจัดการที่เหมาะสมต่อไป

ในส่วนของทัศนคติการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่า อยู่ในระดับดี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกษตรกรมีความรู้และประสบการณ์ในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอยู่แล้ว ไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร ส่งผลให้เกษตรกรมีทัศนคติในการป้องกันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ดีก็ย่อมมีพฤติกรรมการป้องกันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมตามไปด้วย แต่ยังมีทัศนคติที่ยังไม่ถูกต้องเกี่ยวกับเรื่อง สามารถฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชขณะมีลมพัดแรงได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ สุนิสา ชายเกลี้ยง และคณะ (2556) ที่พบว่าเกษตรกรมีทัศนคติที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับเรื่อง เวลาที่มีลมพัดแรงและแดดร้อนจัดสามารถทำการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชได้ ร้อยละ 80.9

ในส่วนของพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยภาพรวม พบว่า อยู่ในระดับดี สอดคล้องกับการศึกษาของ ชนิกานต์ คุ้มนก และคณะ (2555) ที่ศึกษาพฤติกรรมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวใน ตำบล

จอมทอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และพบว่า พฤติกรรมของเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช อยู่ในระดับดี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกษตรกรมีทักษะและประสบการณ์ด้านการเตรียม ด้านการฉีดพ่น ด้านการจัดเก็บทำความสะอาด และด้านการทำลายซากภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เป็นเวลาหลายปี ส่งผลให้เกษตรกรมีการตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือก่อนการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพื่อป้องกันอันตรายจากการทำงานผิดปกติของอุปกรณ์ ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ได้ และมีการแต่งกายให้มิดชิดขณะพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเสมอ เพื่อป้องกันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเข้าสู่ร่างกายตามหลักอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สอดคล้องกับการศึกษาของ อนุวัตน์ เพ็งพุฒ และพุทธิไกร ประมวล (2560) ที่พบว่า เกษตรกรใน ต.สงเปลือย อ.นามน จ.กาฬสินธุ์ ที่มีพฤติกรรมที่เหมาะสมเกี่ยวกับการตรวจสอบอุปกรณ์หรือเครื่องมือก่อนการฉีดพ่นสารเคมี ร้อยละ 83.73 และสอดคล้องกับสุนิสา ชายเกลี้ยง และคณะ (2556) ที่พบว่าเกษตรกรมีการเปลี่ยนชุดที่สวมใส่ในการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช อาบน้ำ ฟอกสบู่ สระผมทันทีหลังจากทำงาน ร้อยละ89.1 แต่เกษตรกรยังมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมในเรื่อง การผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ ชนิดในถังเดียวพร้อมกัน โดยเชื่อว่าการผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดพร้อมกันจะทำให้ไม่เสียเวลาในการผสมสารเคมี แต่การผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดอาจส่งผลให้สารเคมีที่ผสมกันเกิดการต่อต้านฤทธิ์ซึ่งกันและกัน ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพหรือประสิทธิภาพลดลง และเกิดความเป็นพิษต่อคนมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ อนุวัตน์ เพ็งพุฒ และพุทธิไกร ประมวล (2560) ที่พบว่า เกษตรกรยังมีการผสมสารเคมีหลายชนิดในการฉีดพ่นครั้งเดียว และยังมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมในเรื่องการไม่ผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต้องผสมในบริเวณที่โล่งแจ้ง ซึ่งการผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในที่แคบหรือที่อากาศถ่ายเทไม่สะดวกจะทำให้เกิดโอกาสที่สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเข้าสู่ร่างกายโดยทางการหายใจได้ง่าย และส่วนใหญ่สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชนี้เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีอันตรายร้ายแรงเป็นส่วนมาก

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์สามารถกล่าวได้ว่า เมื่อกลุ่มประชากรมีความรู้สูงขึ้น จะมีพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรที่ดีมากขึ้น สำหรับทัศนคติและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ($r = 0.748$, $Sig. < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อกลุ่มประชากรมีทัศนคติที่ดีต่อการใช้สารเคมีมากขึ้น จะมีพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรที่ดีมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ ธวัชชัย ยุบลเขต (2553) ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบ จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า คะแนนความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีความสัมพันธ์กับการใช้สาร เคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และคะแนนทัศนคติเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีความสัมพันธ์กับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 สำหรับความรู้และทัศนคติการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ($r = 0.631$, $Sig. < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อกลุ่มประชากรมีความรู้สูงขึ้น จะมีทัศนคติที่ดีต่อการใช้สารเคมีมากขึ้น จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าเกษตรกรบางรายยังมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ไม่ถูกต้องและเหมาะสม เช่น การผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ ชนิดในถังเดียวพร้อมกัน การอยู่ใกล้บริเวณที่ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชขณะหยุดพัก ซึ่งอาจทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพได้ ดังนั้นเจ้าหน้าที่สาธารณสุขควรมีการระบบการติดตามตรวจวัดระดับความเสี่ยงของผลเลือดจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในเกษตรกร เพื่อให้คำแนะนำในการปฏิบัติตัว และเพิ่มเติมความรู้ในด้านการเตรียม ด้านการฉีดพ่น ด้านการจัดเก็บทำความสะอาด และด้านการทำลายซากภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชให้กับเกษตรกร ให้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2561). **คำแนะนำสำหรับเกษตรกรผู้ใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช.** [เข้าถึงเมื่อ 15 พฤษภาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก *http://www.ppsf.doae.go.th/web_km/group_knowledge/chemical_pest/เอกสารประกอบการอบรมเกษตรกรผู้ใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช.pdf*

ชนิกานต์ คุ้มนก และสุดารัตน์ พิมเสน. (2557). **พฤติกรรมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรตำบลจอมทอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก.** *ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร.* 16(1): 56-67.

ธวัชชัย ยุบลเขต. **การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรปลูกยาสูบ จังหวัดกาฬสินธุ์** [วิทยานิพนธ์ ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต]. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2553. 82 หน้า.

โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลป่าสังข์. (2559). **การประเมินความเสี่ยงของเกษตรกรจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในตำบลป่าสังข์.** [เอกสารอัดสำเนา]. ร้อยเอ็ด: โรงพยาบาล

สิริภัณฑ์กัญญา เรืองไชย และ ยรรยง อินทร์ม่วง. (2554). **ผลกระทบของการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกยาสูบ ตำบลลำห้วยหลัว อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์.** *สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 ขอนแก่น.* 18(1), 48-60.

สุนิสา ชายเกลี้ยง และ สายชล แปรงกระโทก. (2556). **การประเมินทางชีวภาพด้านความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มเกษตรกรผู้ทำนา: กรณีศึกษาตำบลแก้งสนามนาง อำเภอแก้งสนามนาง จังหวัดนครราชสีมา.** *ศรีนครินทร์เวชสาร.* 28(3), 382-389.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). **สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตร 2556.** [เข้าถึงเมื่อ 20 ก.พ. 2561] เข้าถึงได้จาก http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/ebook/commodity56.pdf

สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข. (2553). **คู่มือเกษตรกรปลอดโรคสำหรับเกษตรกรและอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข. (2560). **รายงานสถานการณ์โรคและภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมปี 2560.** [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2562] เข้าถึงได้จาก http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/situation/01_envocc_situation_60.pdf

อนุวัตน์ เพ็งพุฒ และ พุทธไกร ประมวล. (2560). **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างโดยการตรวจระดับโคลีนเอสเตอเรสในเลือดเกษตรกร ตำบลสงเปลือย อำเภอนามน จังหวัดกาฬสินธุ์.** *วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.* 10(1), 47-62.

การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี

สุภาณี จันทร์ศิริ[1] วีรยาภรณ์ เหม็นชา[1] และ สิทธิชัย ใจขาน[1]
1กลุ่มวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*Email : supanee_ys@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรและชนิดการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 123 ครัวเรือน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา

ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรมีระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 97.60 กลุ่มของสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้เป็นกลุ่มกำจัดแมลงมากที่สุด ร้อยละ 84.60 คือ อะบาเม็กทิน ประเภทบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรมากที่สุด ร้อยละ 90.20 คือ ประเภทแก้ว เมื่อพิจารณาการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรโดยการประเมินเป็นรายข้อ พบว่า ไม่ผ่านเกณฑ์ในเรื่องการจัดการด้านการนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปกำจัด โดยพบปัญหาด้านการฝังกลบที่ไม่ถูกสุขาภิบาล (Sanitary landfill) ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม คือ เป็นแหล่งอาหารและเพาะพันธุ์ของแมลงนำโรคต่างๆ เช่น หนู แมลงวัน แมลงสาบ ยุง และสัตว์อื่นๆ ทั้งที่เป็นพาหะนำโรคและไม่เป็นพาหะนำโรค ซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่ถูกทิ้งอย่างไม่ถูกหลักสุขาภิบาล อาจฟุ้งหรือปลิว ก่อความรำคาญแก่ผู้ที่อยู่ใกล้เคียง นอกจากนี้ ยังมีก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักที่สามารถติดไฟหรือระเบิดได้ หลักการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่ถูกต้อง คือ ห้ามนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปทิ้งรวมกับขยะมูลฝอยทั่วไป ไม่นำไปใช้บรรจุสิ่งของอื่น ๆ รวบรวมเก็บไว้ในพื้นที่เฉพาะแยกจากที่พักอาศัยให้อยู่ในสภาพภาชนะบรรจุเดิมรอการเก็บไปกำจัดอย่างถูกวิธี หรือคืนภาชนะบรรจุเดิมให้กับตัวแทน

คำสำคัญ : การจัดการ ซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร

Management of Agrochemical Packaging Waste Management of Farmers Phaeng Yai Subdistrict, Lao Suea Kok District , Ubon Ratchathani

Supanee Junsiri[1] Weerayaporn Menchar[1] and Sitthichai Chaikhan[1]
[1]Environmental Health College of Medicine and Public Health Ubon Ratchathani University
*E-mail : supanee_ys@hotmail.com

Abstract

This research is a cross-sectional descriptive research study. The objectives are to study the level of management of Agrochemical Packaging Waste Management of Farmers and types of packaging at Phaeng Yai Subdistrict, Lao Suea Kok District 123 households in Ubon Ratchathani Province. Data were analyzed using descriptive statistics.

The study indicated that the group of agricultural chemicals used as the insecticide group is the most amphetamine, 84.60 percent, the most chemical type of glass chemical packaging, 90.20 percent, The farmers had a level of agricultural chemical packaging wreckage, which was overall at a moderate level of 97.60 percent The criteria Did not pass for the management of the disposal of agricultural chemical wastes to eliminate by finding landfill problems that are not sanitary which will cause adverse effects on health, health and the environment as food sources and breeding of insects, bringing diseases such as rodents, flies, cockroaches, mosquitoes Agricultural chemical packaging remains are scattered. May be clouded or blown Causing annoyance to those nearby In addition, there are gases from fermentation that are combustible or explosive biogas. A principle of proper management of agricultural chemical carcass packaging is to not remove the remains of

agricultural chemical packaging in combination with general solid waste. Not used for packing other items, collecting and storing in specific areas, separating from accommodation to be in the original container condition, waiting for collection to be properly disposed or return the original container to the agent

Keywords : Management , Agrochemical Packaging Waste

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการผลิตทางการเกษตรเป็นผลิตผลหลักของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ และสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ การใช้สารเคมี ทั้งปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งเกษตรกรจำเป็นต้องใช้เพื่อเพิ่มและรักษาผลผลิต (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2556) จากสถิติการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชของประเทศไทย ซึ่งรายงานโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าการนำเข้าสารเคมีของประเทศไทยในรอบทศวรรษที่ผ่านมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีซึ่ง ปี พ.ศ. 2558 มีการนำเข้าซากเคมีทางการเกษตรจำนวน 149,546 ตัน และมีมูลค่าการนำเข้ารวม 19,326 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,2559) แม้ว่าสารเคมีทางการเกษตรจะมีประโยชน์ต่อการควบคุมการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชได้ระดับหนึ่งแต่ก็มีความเป็นพิษโดยตัวสารเคมีเองอยู่ด้วยประกอบกับการใช้สารเคมีที่ไม่ถูกต้องของตัวเกษตรกรและการใช้ที่มากเกินความจำเป็น รวมทั้งการใช้โดยปราศจากนโยบายและมาตรการทางกฎหมายที่ควบคุมอย่างเข้มงวดจึงส่งผลกระทบให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพเกษตรกรและผู้บริโภคเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมรวมทั้งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งในระยะสั้นและระยะยาว (สาคร ศรีมุข, 2556)

ซากบรรจุภัณฑ์เคมีเกษตรที่เหลือทิ้งจากการใช้ จัดเป็นขยะอันตรายประเภทหนึ่งที่เกษตรกรมักจะทิ้งปะปนไปกับขยะทั่วไป ในอดีตที่ผ่านมามีคำแนะนำให้กำจัดซากบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ด้วยวิธีการฝังดินในพื้นที่เกษตร แต่เนื่องจากปัจจุบันมีกระแสของการนำขยะมาใช้ซ้ำ (reuse) หรือ ผลิตใหม่ (recycle) ซากบรรจุภัณฑ์เคมีเกษตรบางส่วน โดยเฉพาะขวดแก้วและขวดพลาสติกจึงถูกนำเข้าสู่กระบวนการธุรกิจรับซื้อของเก่า นอกจากนี้บางส่วนที่ไม่สามารถขายได้ เช่น ซองพลาสติกขนาดเล็ก และซองอลูมิเนียมจะถูกนำไปเผาทำลายในที่โล่ง การเผาซากบรรจุภัณฑ์เคมีเกษตรบางชนิดในที่โล่งนั้น สามารถปล่อยสารอันตรายสู่บรรยากาศได้โดยตรง เช่น dioxins , Carbofuran เป็นต้น สารเหล่านี้ถูกกำหนดให้เป็นสารอันตรายชั้นที่ 1 โดย The International Agency for Research on Cancer (IARC) คือ มีความเป็นพิษสูงที่สุดและเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งมีความจำเป็นต้องลดการก่อให้เกิดหรือกำจัดให้หมดไปจากสิ่งแวดล้อม การเผายังส่งผลกระทบหลักที่รุนแรงอีกประการหนึ่ง คือ เป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งวิธีการปฏิบัติดังกล่าวนี้ อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนและสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งผลกระทบที่สำคัญและอาจเกิดขึ้นได้โดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์นั้น ได้แก่ การได้รับสัมผัสพิษจากสารเคมีเกษตรที่เป็นอันตรายซึ่งตกค้างอยู่ในซากบรรจุภัณฑ์เคมีเกษตรโดยผู้ที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสพิษเหล่านั้น ได้แก่ มนุษย์และสัตว์เลี้ยงในพื้นที่ที่มีการใช้ หรือเก็บรวบรวมซากบรรจุภัณฑ์เคมีเกษตร ประชาชนที่มีโอกาสสัมผัสกับสารเหล่านั้นไม่ว่าจะเป็นเกษตรกรผู้ใช้สารและบุคคลในครอบครัว ผู้รับซื้อของเก่าและบุคลากรในกระบวนการรับซื้อของเก่า รวมทั้งชุมชนในพื้นที่ข้างเคียงก็อาจได้รับอันตรายจากการแพร่กระจายของสารตกค้างผ่านทางน้ำ ดิน และอากาศ เนื่องจากประชาชนผู้เกี่ยวข้องยังขาดความตระหนักในอันตรายที่อาจได้รับจากสารตกค้างในซากบรรจุภัณฑ์เคมีเกษตร (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2556)

จังหวัดอุบลราชธานี ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร โดยเฉพาะการทำนา ปลูกผัก และทำสวน ในการทำการเกษตรมีการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชอย่างแพร่หลาย ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก นับเป็นพื้นที่ทำการเกษตรเป็นจำนวนมาก ประชากรที่ทำการเกษตรมีจำนวน 430 ครัวเรือน ซึ่งมีพื้นที่มากกว่า 771 ไร่ เป็นชุมชนที่มีการปลูกผักเพื่อส่งขายให้แก่ร้านค้าตลาดขายส่ง และมีการใช้สารเคมี ตัวอย่าง เช่น กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มคลอโรนิโคตินิล กลุ่มอะบาเม็กติน เป็นต้น ก่อให้เกิดซากบรรจุภัณฑ์ทางเคมีต่างๆ หากเกษตรกรมีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์ทางเคมีทางการเกษตรไม่ต้องถูกต้อง ย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร และชนิดการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานีเป็นอย่างไร เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้นำไปใช้ในการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่ถูกต้อง เหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี

2. เพื่อศึกษาชนิดการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี

วิธีการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive research) โดยใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ เกษตรกรที่ทำการปลูกผักและมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ในพื้นที่ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี มีประชากรที่ปลูกผักจำนวนทั้งหมด 430 หลังคาเรือน ประกอบไปด้วย บ้านแสงหมู่ที่ 1 จำนวน 69 หลังคาเรือน บ้านกลางหมู่ที่ 2 จำนวน 15 หลังคาเรือน บ้านแดงหมู่ที่ 3 จำนวน 35 หลังคาเรือน บ้านหนองเป็ดหมู่ที่ 4 จำนวน 35 หลังคาเรือน บ้านหนองดินจี่หมู่ที่ 5 จำนวน 37 หลังคาเรือน บ้านจิกหมู่ที่ 6 จำนวน 32 หลังคาเรือน บ้านแพงหมู่ที่ 7 จำนวน 22 หลังคาเรือน บ้านบากนาเจริญหมู่ที่ 8 จำนวน 10 หลังคาเรือน บ้านดอนกลอยหมู่ที่ 9 จำนวน 32 หลังคาเรือน บ้านโนนสมบรูณ์ หมู่ที่ 10 จำนวน 53 หลังคาเรือน บ้านแสงน้อยหมู่ที่ 11 จำนวน 38 หลังคาเรือน บ้านจิกน้อยหมู่ที่ 12 จำนวน 19 หลังคาเรือน บ้านโคกสะอาดหมู่ที่ 13 จำนวน 33 หลังคาเรือน (สำนักงานเกษตรอำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี,2561)

กลุ่มตัวอย่าง คือ เกษตรกรที่ทำการปลูกผักและมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ในพื้นที่ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี สุ่มกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) หลังคาเรือนละ 1 คน ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามจะต้องเต็มใจให้ข้อมูลโดยสมัครใจและมีคุณสมบัติตรงตามเงื่อนไข คือ มีอายุ 18 ปีขึ้นไป และเป็นผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรที่ใช้สารเคมีทางการเกษตรในการเพาะปลูก จำนวน 123 คน

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้รวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ มี 2 ชนิด ได้แก่

1. แบบสำรวจชนิดสารเคมีทางการเกษตรและการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ซึ่งโครงสร้างแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบสำรวจการใช้สารเคมีทางการเกษตร โดยลักษณะข้อคำถาม เป็นแบบเติมคำตอบ จำนวน 4 หัวข้อ เกี่ยวกับ ชนิดของผักที่ปลูกและพื้นที่ในการเพาะปลูก กลุ่มของสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้ ประเภทของบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร และความถี่ในการใช้สารเคมีทางการเกษตรต่อ 1 รอบการเพาะปลูก

ส่วนที่ 2 แบบสำรวจการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร โดยลักษณะข้อคำถาม เป็นแบบเติมคำตอบ จำนวน 3 หัวข้อ เกี่ยวกับ ชนิดของผักที่ปลูก ประเภทและวิธีการจัดการซากของบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร และความถี่ในการจัดการซากบรรจุภัณฑ์ทางการเกษตร

2. แบบสอบถามการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรกรของเกษตรกรที่ปลูกผัก โดย กำหนดกรอบแนวคิดในการสร้างแบบสอบถามจากเนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งโครงสร้างแบบสอบถาม คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป โดยลักษณะของข้อคำถาม เป็นแบบเลือกตอบและเติมคำตอบ จำนวน 8 ข้อ เกี่ยวกับ เพศ อายุ ระดับการศึกษา ประวัติการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผักระยะเวลาในการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผัก รายได้เฉลี่ยที่ได้รับต่อปีจากการทำเกษตรกรรม รายจ่ายเฉลี่ยในการซื้อสารเคมีทางการเกษตร และการได้รับ ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวิธีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมี

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร โดยกำหนดกรอบแนวคิดในการสร้างแบบสัมภาษณ์จากเนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องลักษณะของข้อคำถาม เป็นการประเมิน แบบปฏิบัติและไม่ปฏิบัติ โดยประเมินผ่านหลังคำถามหากผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ปฏิบัติถูกต้องครบถ้วนทุกรายการ และประเมิน ไม่ผ่าน หลังข้อคำถาม หากผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ปฏิบัติถูกต้อง ไม่ครบถ้วนทุกรายการ หรือ ไม่ปฏิบัติ ดังต่อไปนี้

สำหรับผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ทุกคน ประกอบด้วยประเด็นด้านการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตรกรจำนวน 28 ข้อ แบ่งเป็น ข้อปฏิบัติทั่วไปเมื่อสัมผัสซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร จำนวน 4 ข้อ ด้านการจัดเก็บซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร จำนวน 6 ข้อ ด้านการคัดแยกซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร จำนวน 2 ข้อ ด้านการขนย้ายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร จำนวน 1 ข้อ และด้านการนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตรไปกำจัด จำนวน 15 ข้อ

โดยเกณฑ์การให้คะแนนเพื่อนำมาวิเคราะห์ดังนี้

ประเมิน	ปฏิบัติ	ได้	1 คะแนน
ประเมิน	ไม่ปฏิบัติ	ได้	0 คะแนน

การตรวจสอบเครื่องมือ

ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยนำเครื่องมือที่สร้างเสร็จแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน คือ อาจารย์ ดร.ปวีณา ลิมปิทีปราการ อาจารย์สง่า ทับทิมหิน และอาจารย์สิทธิชัย ใจขาน อาจารย์วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อตรวจสอบความตรงกับเนื้อหา โดยพิจารณาให้ครอบคลุมถึงความถูกต้องของเนื้อหา ภาษา และสำนวนที่ใช้ หลังจากนั้นได้นำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะก่อนนำไปทดสอบหาความเชื่อมั่นของแบบสอบถามต่อไป และหาความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของเนื้อหา โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC (Index of Item Objective Congruence) ได้ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00

ตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถามโดยการ Try out แบบสอบถามในกลุ่มตัวอย่างเกษตรกร ตำบลเหล่าเสือโก้ก อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างที่จะศึกษา จำนวน 30 คน วิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยใช้ KR 20 (Kuder- Richardson) ได้ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.779

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่ออธิบายลักษณะของกลุ่มศึกษา โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ดังนี้

1. แบบสำรวจชนิดสารเคมีทางการเกษตรและเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก

ส่วนที่ 1 แบบสำรวจการใช้สารเคมีทางการเกษตรการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาข้อมูลชนิดสารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรที่ปลูกผัก การทำวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิสถิติเชิงพรรณนาโดยใช้การแจกแจงความถี่และร้อยละ

ส่วนที่ 2 แบบสำรวจการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาข้อมูลชนิดการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ทำการวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาโดยใช้การแจกแจงความถี่และร้อยละ

2. แบบสอบถามการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรของเกษตรกร

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ตัวแปรที่ระดับการวัดเชิงคุณภาพ ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา ประวัติการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผัก และการได้รับข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวกับวิธีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมี การใช้วิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา โดยใช้สถิติจำนวนและร้อยละ

ตัวแปรที่ระดับการวัดเชิงปริมาณ ได้แก่ อายุ ระยะเวลาในการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผัก รายได้เฉลี่ยที่ได้รับต่อปีจากการทำเกษตรกรรม และรายจ่ายเฉลี่ยในการซื้อสารเคมีทางเกษตร ใช้การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา โดยใช้สถิติจำนวนและร้อยละ

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรของเกษตรที่ปลูกผัก ทำการวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์สถิติพรรณนาโดยใช้การแจกแจงความถี่และร้อยละ

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การทำวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิสถิติเชิงพรรณนาโดยใช้การแจกแจงความถี่และร้อยละ

ผลการวิจัย

การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรของเกษตรกรที่ปลูกผัก กรณีศึกษาตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี เป็นการศึกษา เชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross–sectional descriptive research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการจัดการและชนิดการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก รวมทั้งสิ้น 123 ครัวเรือน แบ่งการวิเคราะห์แสดงผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
2. การจัดการซากและชนิดของซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=123)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
1.เพศ		
ชาย	65	52.80
หญิง	58	47.20
2.อายุ		
น้อยกว่า 30 ปี	5	4.10
31-40 ปี	19	15.40
41-50 ปี	45	36.60
51 ปี ขึ้นไป	54	43.90
3. ระดับการศึกษา		
ประถมศึกษา	107	87.00
มัธยมศึกษา	15	12.20
ปริญญาตรี	1	0.80
4. ประวัติการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผัก		
ใช้	123	100.00
5. ท่านใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผัก		
1-10 ปี	59	48.00
11-20 ปี	46	37.40
21-30 ปี	16	13.00
31 ปี ขึ้นไป	2	1.60
6. รายได้เฉลี่ยที่ได้รับต่อปีจากการทำเกษตรกรรม		
ต่ำกว่า 10,000 บาทต่อปี	4	3.30
10,001-50,000 บาทต่อปี	16	13.00
50,001-100,000 บาทต่อปี	31	25.20
มากกว่า 100,000 บาทต่อปี	72	58.50
7. รายจ่ายเฉลี่ยในการซื้อสารเคมีทางการเกษตรต่อปี		
ต่ำกว่า 2,000 บาทต่อปี	6	4.90
2,001-5,000 บาทต่อปี	34	27.60
5,001-10,000 บาทต่อปี	25	20.30
มากกว่า 10,000 บาทต่อปี	58	47.20
8. ท่านได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในศัตรูพืชและวิธีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรจากแหล่งใด (ตอบได้มากกว่า1ข้อ)		
เคยได้รับ	123	100.00
วิทยุ	9	7.30

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=123) (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
หนังสือพิมพ์	6	4.90
บุคคลในครอบครัว	10	8.10
ฉลากผลิตภัณฑ์	44	35.80
โทรทัศน์	6	4.90
แผ่นพับ / โปสเตอร์	18	14.60
เพื่อนเกษตรกร	46	37.40
ผู้ขายสารเคมีกำจัดศัตรูพืช	60	48.80
นักวิชาการเกษตร	98	79.70
เกษตรจังหวัด	13	10.60
สื่อออนไลน์/เฟสบุ๊ค/ไลน์	7	5.70

จากตารางที่ 1 เกษตรกรเป็นเพศชายมากที่สุด ร้อยละ 52.80 อยู่ในช่วง 51 ปี ขึ้นไปมากที่สุด ร้อยละ 43.90 จบการศึกษาระดับประถมศึกษามากที่สุด ร้อยละ 87.00 มีการใช้สารเคมีมากที่สุด ร้อยละ 100.00 มีระยะเวลาในการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผักอยู่ในช่วง 1-10 ปี มากที่สุด ร้อยละ 48.00 มีรายได้เฉลี่ยต่อปีที่ได้รับจากการทำเกษตรกรรม มากกว่า 100,000 บาทต่อปี มากที่สุด ร้อยละ 58.50 มีรายจ่ายเฉลี่ยในการซื้อสารเคมีทางการเกษตรต่อปี มากกว่า 10,000 บาทต่อปี มากที่สุด ร้อยละ 47.20 เคยได้รับข้อมูล ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในศัตรูพืชและวิธีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร มากที่สุด ร้อยละ 100.00

2. การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร

ตารางที่ 2 การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร (n=123)

ข้อคำถาม	ปฏิบัติ	ไม่ปฏิบัติ
	จำนวน (ร้อยละ)	**จำนวน (ร้อยละ)**
ข้อปฏิบัติทั่วไปเมื่อสัมผัสซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร		
1.สวมถุงมือ ขณะสัมผัสซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร	**122(99.20)**	**1(0.80)**
2.สวมหน้ากาก หรือผ้าปิดปาก ขณะสัมผัสซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร	**122(99.20)**	**1(0.80)**
3.สวมเสื้อผ้าที่ปิดคลุมร่างกายมิดชิด ขณะสัมผัสซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร	**123(100.00)**	**-**
4.สวมรองเท้าบูท หรือรองเท้าหุ้มส้น ขณะสัมผัสซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางเกษตร	**122(99.20)**	**1(0.80)**
ด้านการรวบรวมซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร		
5.เก็บรวบรวมซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนนำไปกำจัด	**116(94.30)**	**7(5.70)**
6.มีสถานที่เก็บซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ที่แยกเป็นสัดส่วน	**57(46.30)**	**66(53.70)**
7.เก็บซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร มิดชิด จากแดดและฝน ใสสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเท สะดวก	**73(59.30)**	**50(40.70)**
8.มีสถานที่ในการจัดเก็บซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรโดยห่างจากแหล่งน้ำอุปโภค บริโภค เช่น แม่น้ำ แหล่งน้ำสาธารณะ	**100(81.30)**	**23(18.70)**

ตารางที่ 2 การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร (n=123) (ต่อ)

ข้อคำถาม	ปฏิบัติ	ไม่ปฏิบัติ
	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)
9.เก็บรวบรวมซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร โดยมีภาชนะรองรับเพื่อป้องกันการหกรั่วไหลของสารเคมี	102(82.90)	21(17.10)
10.เก็บรวบรวมซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร แยกจากวัสดุอุปกรณ์ทางการเกษตร	114(92.70)	9(7.30)
ด้านการคัดแยกซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร		
11.คัดแยกซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ออกจากขยะทั่วไป	122(99.20)	1(0.80)
12.คัดแยกซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ออกเป็นประเภท	90(73.20)	33(26.80)
ด้านการขนย้ายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรเพื่อนำไปกำจัด		
13.เมื่อมีการขนย้ายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปกำจัด มีกาป้องกันการหกรั่วไหลของสารเคมีระหว่างการขนย้าย เช่น ผ้ายางคลุมกันซึม มีภาชนะรองพื้น เป็นต้น	83(67.50)	40(32.50)
ด้านการนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปกำจัด		
14.ไม่นำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร กลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำ	94(76.40)	29(23.60)
15.นำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร เช่น ขวด กระสอบ มาใส่อาหาร หรือผลผลิตทางการเกษตร	31(25.20)	92(74.80)
16.ไม่นำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร นำไปขายให้ผู้รับซื้อของเก่า	88(71.50)	35(28.50)
17.ล้างซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ประเภท ขวดแก้ว พลาสติก อลูมิเนียม ด้วยน้ำสะอาด ก่อนนำไปกำจัด	73(59.30)	50(40.70)
18.นำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปทิ้งลงถังขยะเทศบาล	58(47.20)	65(52.80)
19.เผาซากบรรจุภัณฑ์เคมีในที่โล่งและมีการป้องกันไม่ให้ควันพิษจากการเผาลอยเข้าไปในบ้านเรือน	55(44.70)	68(55.30)
20.ทุบทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ก่อนนำไปฝังกลบ	-	123(100.00)
21.ฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ในพื้นที่ห่างจากแหล่งน้ำ อย่างน้อย 50 เมตรขึ้นไป	103(83.70)	20(16.30)
22.ฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์ฯ ในพื้นที่ที่ไม่มีน้ำท่วมขัง หรือเป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วมไม่ถึง	101(82.10)	22(17.90)
23.โรยปูนขาวในหลุมฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์ฯ ก่อนที่จะฝังกลบ	123(100.00)	-

24.ฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์ฯ โดยขุดหลุมลึกอย่างน้อย 1 เมตร	12(9.80)	111(90.20)
25.รองก้นหลุมด้วยปูนขาวเพื่อลดความเป็นมลพิษของสารเคมี	-	123(100.00)
26.นำภาชนะบรรจุฝังและโรยปูนขาวสลับเป็นชั้นๆ ความหนาแต่ละชั้น ประมาณ 10-15 เซนติเมตร	-	123(100.00)
27.ปิดกลบชั้นสุดท้ายด้วยดินหนา 50 เซนติเมตร ให้อยู่ในระดับเสมอกับพื้นดินเดิม	11(8.90)	112(91.10)
28.ติดป้ายข้อความ อันตราย และล้อมรั้วแสดงเขตหลุมฝังกลบ	-	123(100.00)

จากตารางที่ 2 การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร พบว่า คำถามที่ไม่ผ่านการประเมินมากที่สุด คือ การทุบทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนนำไปฝังกลบ โรยปูนขาวในหลุมฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนที่จะฝังกลบ รองก้นหลุมด้วยปูนขาวเพื่อลดความเป็นมลพิษของสารเคมี นำภาชนะบรรจุฝังและโรยปูนขาวสลับเป็นชั้นๆ ความหนาแต่ละชั้น ประมาณ 10-15 เซนติเมตร ติดป้ายข้อความ อันตราย และล้อมรั้วแสดงเขตหลุมฝังกลบ คิดเป็น ร้อยละ 100.00 รองลงมาคือ ปิดกลบชั้นสุดท้ายด้วยดินหนา 50 เซนติเมตร ให้อยู่ในระดับเสมอกับพื้นดินเดิม คิดเป็น ร้อยละ 91.10 และ ฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์ฯ โดยขุดหลุมลึกอย่างน้อย 1 เมตร คิดเป็น ร้อยละ 90.20

ตารางที่ 3 ระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร (n=123)

ระดับการจัดการ	จำนวน	ร้อยละ
ดี	**3**	**2.40**
ปานกลาง	**120**	**97.60**
Mean = 14.78 (S.D. = 2.26) Max = 20 Min = 10		

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร พบว่าเกษตรกรมีระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรโดยในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 97.60รองลงมา คือ ระดับดี ร้อยละ 2.40

ตารางที่ 4 ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกร (n=123)

การใช้สารเคมีทางการเกษตร	จำนวน	ร้อยละ
1.ชนิดของผักที่ปลูก (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
พริก	**89**	**72.40**
กะหล่ำปลี	**15**	**12.20**
ถั่วฝักยาว	**10**	**8.10**
แตงกวา	**8**	**6.50**
ผักกาด	**6**	**4.90**
ผักกาดขาว	**9**	**7.30**
ต้นหอม	**22**	**17.90**
ผักชีฝรั่ง	**11**	**8.90**
ผักชีลาว	**10**	**8.10**
กวางตุ้ง	**4**	**3.30**

คะน้า	5	4.10
กระเพรา	3	2.40
มะเขือ	1	0.80
ฟักทอง	36	29.30
กระเทียม	3	2.40
หอมแบ่ง	1	0.80
แมงลัก	1	0.80
โหระพา	3	2.40
มะเขือเทศ	2	1.60
ขึ้นฉ่าย	4	3.30
หัวไชเท้า	2	1.60
ผักชีหอม	4	3.30
ผักบุ้ง	1	0.80
สะระแหน่	4	3.30

ตารางที่ 4 ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกร)n=123) (ต่อ)

การใช้สารเคมีทางการเกษตร	จำนวน	ร้อยละ
2.พื้นที่ในการเพาะปลูก		
1-5 ไร่	**99**	**80.50**
6-10 ไร่	**24**	**19.50**
3.กลุ่มของสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้		
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
กำจัดแมลง		
อะบาเม็กทิน	**104**	**84.60**
โพเดียม	**24**	**19.50**
แลนเนท	**12**	**9.80**
แลมพ์พาร์ด	**16**	**13.00**
ไซเพอร์เมทริน	**21**	**17.10**
บาซูก้า	**18**	**14.60**
โปรวาโดน	**64**	**52.00**
ซิลิคอน	**61**	**49.60**
คลอแรนทรานิลิโพรล	**1**	**0.80**
โพลิแทค	**2**	**1.60**
คาร์โบซัลแฟน	**1**	**0.80**
กำจัดวัชพืช		

กรัมมอกโซน	61	49.60
ไกลโฟเซท	64	52.00
ลาคลอร์	8	6.50
วันไวด์	5	4.10
อะมิทราซ	1	0.80
แคนนู	1	0.80
กำจัดเชื้อรา		
แอนทราโคล	65	52.80
คาโคนิล	15	12.20
ไซโปรโคนาโซล	1	0.80
ไตรโดเดอร์มา	1	0.80
4.ประเภทบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร		
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
พลาสติก	99	80.50
กระดาษ	27	22.00
แก้ว	111	90.20
อลูมิเนียมฟอยล์	28	22.80
5.ความถี่ในการใช้สารเคมีต่อ 1 รอบการเพาะปลูก		
น้อยกว่า 5 ครั้ง(500มล.)	81	65.90
น้อยกว่า 5 ครั้ง(1000มล.)	1	0.80
5-10 ครั้ง(500มล.)	34	27.60
5-10 ครั้ง(1000มล.)	5	4.10
15 ครั้งขึ้นไป(500มล.)	1	0.80

จากตารางที่ 4 ชนิดของผักที่ปลูกมีการปลูกพริกมากที่สุด ร้อยละ 72.40 รองลงมาคือ ฟักทอง ร้อยละ 29.30 และต้นหอม ร้อยละ 17.90 ขนาดพื้นที่ทำเกษตรกรรมอยู่ในช่วง 1-5 ไร่ มากที่สุด ร้อยละ 80.50 กลุ่มของสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้เป็นกลุ่มกำจัดแมลง คือ อะบาเม็กทินมากที่สุด ร้อยละ 84.60 ประเภทบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรประเภทแก้วมากที่สุด ร้อยละ 90.20 มีความถี่ในการใช้สารเคมีต่อ 1 รอบการเพาะปลูกน้อยกว่า 5 ครั้ง)500มล.) มากที่สุด ร้อยละ 65.90

ตารางที่ 5 วิธีการจัดการซากของบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร) n=123)

การจัดการซากของบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร	จำนวน	ร้อยละ
1.วิธีกำจัดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร		

(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
พลาสติก		
ฝังกลบ	12	9.80
เผา	8	6.50
รวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชน	80	65.00
กระดาษ		
ฝังกลบ	6	4.90
เผา	1	0.80
รวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชน	20	16.30
แก้ว		
ฝังกลบ	11	8.90
เผา	8	6.50
รวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชน	90	73.20
อลูมิเนียมฟอยล์		
เผา	5	4.10
รวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชน	26	21.10
ความถี่ในการกำจัดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร		
(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
พลาสติก		
3-4 ครั้งต่อเดือน	11	8.90
1-2 ครั้งต่อปี	90	73.20
กระดาษ		
3-4 ครั้งต่อเดือน	2	1.60
1-2 ครั้งต่อปี	26	21.10
แก้ว		
3-4 ครั้งต่อเดือน	8	6.50
1-2 ครั้งต่อปี	99	80.50
อลูมิเนียมฟอยล์		
1-2 ครั้งต่อปี	28	22.80

จากตารางที่ 5 วิธีการกำจัดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ขวดแก้วโดยการรวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชนมากที่สุด ร้อยละ 73.20 รองลงมา กำจัดพลาสติกโดยการรวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชน ร้อยละ 65.00 และกำจัดอลูมิเนียมฟอยล์รวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชน ร้อยละ 21.10 มีความถี่ในการกำจัดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรประเภทขวดแก้ว 1-2 ครั้งต่อปี มากที่สุด ร้อยละ 80.50 รองลงมา กำจัดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรประเภทพลาสติก 1-2 ครั้งต่อปี ร้อยละ 73.20 และกำจัดซากบรรจุ ภัณฑ์เคมีทางการเกษตรประเภทอลูมิเนียมฟอยล์ 1-2 ครั้งต่อปี ร้อยละ 22.80

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ของเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี สามารถอภิปรายและสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร

เกษตรกรมีระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรโดยในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง มากที่สุด เมื่อพิจารณาการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินเป็นรายข้อ พบว่า อยู่ในด้านการนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปกำจัด คือ เกษตรกรไม่ทุบทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนนำไปฝังกลบ ไม่โรยปูนขาว

ในหลุมฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนที่จะฝังกลบ ไม่รองก้นหลุมด้วยปูนขาวเพื่อลดความเป็นมลพิษของสารเคมี ไม่นำภาชนะบรรจุฝังและโรยปูนขาวสลับเป็นชั้นๆ ความหนาแต่ละชั้น ประมาณ 10-15 เซนติเมตร และไม่ติดป้ายข้อความ อันตราย และล้อมรั้วแสดงเขตหลุมฝังกลบ ร้อยละ 100 เท่ากันทุกข้อ จะเห็นได้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรในหัวข้อการประเมินที่คล้ายกัน พบว่าเกษตรกรที่ที่ไม่ทราบว่าการโรยปูนขาวในหลุมฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร สามารถลดความเป็นพิษของซากบรรจุภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อม โดยมักเข้าใจว่าวัตถุประสงค์ของการโรยปูนขาวในดินเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินให้เหมาะแก่การเพาะปลูก โดยนิยมใช้ปูนขาวเพื่อลดความเป็นกรดของดินลงจากสภาพความเป็นด่างของปูนขาว (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป) ดังนั้นด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงอาจส่งผลต่อพฤติกรรมในการใช้ปูนขาวในการฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร ทั้งนี้การจัดการดังกล่าวของเกษตรกร อาจมีผลมาจากปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย ซึ่งผลกระทบจากการไม่โรยปูนขาวในหลุมฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร จะทำให้สารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างอยู่ในซากบรรจุภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดการติดไฟ ลุกไหม้ หรือเกิดการระเบิดได้ ซึ่งหากเกิดขึ้นจะเป็นอันตรายทั้งต่อสภาพแวดล้อมใกล้เคียงบริเวณพื้นที่ฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร และเป็นอันตรายต่อสุขภาพจากควันพิษที่เกิดจากการเผาไหม้สารเคมีทางการเกษตรที่เป็นพิษ ดังนั้นการโรยปูนขาวเพื่อลดความเป็นพิษของสารเคมีทางการเกษตรนอกจากคุณสมบัติเป็นด่างของปูนขาวที่จะช่วยลดค่าความเป็นกรดของดินแล้ว ปูนขาวยังสามารถช่วยในการป้องกันการลุกติดไฟของสารเคมีตกค้างในหลุมฝังกลบ โดยเมื่อปูนขาวถูกสลายด้วยความร้อน ปูนขาวจะเปลี่ยนสภาพเป็นหินปูนและปฏิกิริยาจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (เอกสิทธิ์ สมสุข,2557) ทำให้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบลดลง ตัดปฏิกิริยาการเกิดไฟ ซึ่งต้องมี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ เชื้อเพลิง ความร้อน และออกซิเจน (กรมควบคุมและบรรเทาสาธารณภัย, ม.ป.ป)

เกษตรกรไม่ทุบทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนนำไปฝังกลบ ซึ่งการทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนนำไปฝังกลบ เป็นวิธีการป้องกันไม่ให้นำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่ และพบว่าเกษตรกรไม่นำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่ มากที่สุดถึงร้อยละ 100 และยังมีการจัดการที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินการทุบทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนนำไปฝังกลบ ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม คือ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงนำโรคต่างๆ เช่น หนู แมลงวัน แมลงสาบ ยุง และสัตว์อื่น ๆ ที่เป็นพาหะนำโรคและไม่เป็นพาหะนำโรค เมื่อมีลมพัดอาจฟุ้งหรือปลิวไปทั่ว อาจก่อความรำคาญแก่ผู้ที่อยู่ใกล้เคียง เมื่อทิ้งไว้นานๆจะมีก๊าซจากการหมัก เป็นก๊าซชีวภาพที่ติดไปหรือระเบิดได้ และทราบว่าไม่ควรนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำ เพราะยังมีสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและต่อสิ่งแวดล้อมตกค้างอยู่ในซากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งการจัดการไม่นำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำนี้ อาจส่งผลให้เกษตรกรมีการจัดการทุบทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนนำไปฝังกลบเพื่อป้องกันการนำกลับมาใช้ใหม่ใช้ซ้ำ อีกทั้งหลุมฝังกลบซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่เกษตรกรใช้ฝังกลบส่วนใหญ่เป็นบ่อน้ำเก่ามีความลึกมากกว่า 2 เมตรขึ้นไป ซึ่งไม่มีน้ำแล้ว และบ่อน้ำเก่าอยู่ห่างจากพื้นที่อยู่อาศัยและพื้นที่ทำเกษตรกรรม เมื่อเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร เกษตรกรจะเก็บรวบรวมและทิ้งซากบรรจุภัณฑ์ลงบ่อน้ำ เมื่อเต็มบ่อแล้วจึงปิดถมบ่อด้วยดินหนามากกว่า 50 เซนติเมตร ซึ่งการไม่เจาะทำลายซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรก่อนทิ้ง จะเพิ่มโอกาสเสี่ยงในการนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่จากผู้ที่รู้เท่าไม่ถึงการณ์ เมื่อหยิบจับโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ อาจทำให้สารเคมีทางการเกษตรที่เหลือตกค้างอยู่ผ่านเข้าสู่ร่างกาย หรือเมื่อนำมาใช้เพื่อบรรจุสารเคมีทางการเกษตรชนิดอื่นๆ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเพิ่มฤทธิ์ของสารเคมีทางการเกษตร ทำให้ฤทธิ์ของสารเคมีเปลี่ยนแปลงไป ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง หรือระบบทางเดินหายใจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และอาจเกิดการลุกไหม้ หรือระเบิดได้ ดังนั้นจึงทำให้ผลการศึกษาการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร อยู่ในระดับปานกลางมากที่สุด และหลักการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่ถูกต้อง คือ อย่านำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปทิ้งรวมกับขยะมูลฝอยทั่วไป ไม่นำไปใช้บรรจุสิ่งของอื่น ๆ และไม่ขายต่อให้พ่อค้ารับซื้อของเก่า ไม่นำไปเผา ฝังดิน ทิ้งลงท่อระบายน้ำ หรือแหล่งน้ำสาธารณะ ไม่นำภาชนะบรรจุไปล้าง และรวบรวมเก็บไว้ในพื้นที่เฉพาะแยกจากที่พักอาศัยให้อยู่ในสภาพภาชนะบรรจุเดิมรอการเก็บไปกำจัดอย่างถูกวิธี หรือคืนภาชนะบรรจุเดิมให้กับตัวแทน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

2. ชนิดการใช้สารเคมีและการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร

เกษตรกรมีระยะเวลาในการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผักอยู่ในช่วง 1-10 ปี มากที่สุด ร้อยละ 48.00 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ วิชชาดา สิมลา (2554) ศึกษาเรื่องพฤติกรรมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแหลมโตนด อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง ว่าเกษตรกรมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกผักมาเป็นเวลา 5 ปี ร้อยละ 83.65 เนื่องจากชุมชนตำบลแพงใหญ่ มีอาชีพปลูกผักส่งขายเป็นอาชีพหลัก จึงทำให้เกษตรกรใช้สารเคมีในการเพาะปลูก เพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ซึ่งกลุ่มของสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้เป็นกลุ่มสารกำจัดแมลง คือ อะบาเม็กทิน มากที่สุด ร้อยละ 84.60 ซึ่งสารเคมีนี้

อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อเกษตรกรที่ใช้ คือ มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน มานตาหรี่ เซื่องซึมและกล้ามเนื้อกระตุก ส่วนความถี่ในการใช้สารเคมีต่อ 1 รอบการเพาะปลูกน้อยกว่า 5 ครั้ง(500มล.) มากที่สุด ร้อยละ 65.90 เพราะเกษตรกรปลูกพริก มากที่สุด ร้อยละ 72.40 ขนาดพื้นที่ทำเกษตรกรรมอยู่ในช่วง 1-5 ไร่ มากที่สุด ร้อยละ 80.50 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการวิจัยเรื่อง การศึกษาแนวทางการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2556) ที่ผลการศึกษาพบว่าประเภทซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรที่เกิดขึ้นเป็นประเภทแก้วมากที่สุด เนื่องจากสารเคมีที่เกษตรกรนิยมใช้เป็นชนิดน้ำที่บรรจุในขวดแก้วสีชา รวมทั้งเกษตรกรมีลักษณะการเลือกใช้สารเคมีไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อจำแนกตามประเภท พบว่า มีการใช้บรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรประเภทแก้ว มากที่สุด ร้อยละ 90.20 มีความถี่ในการกำจัดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรประเภทขวดแก้ว 1-2 ครั้งต่อปี มากที่สุด ร้อยละ 80.50 และวิธีการกำจัดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร โดยการรวบรวมในถังขยะอันตรายของชุมชน มากที่สุด ร้อยละ 73.20

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร พบว่า เกษตรกรยังมีระดับการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง และเกษตรกรยังมีการจัดการที่ไม่ถูกต้อง ในเรื่องการนำซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรไปกำจัด ดังนั้น เกษตรจังหวัดหรือสาธารณสุขจังหวัด ควรมีการกำหนดนโยบายหรือแนวทางในการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรอย่างเหมาะสมปลอดภัย และถ่ายทอดให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องรับรู้โดยทั่วถึงกัน เพื่อให้เกิดการปฏิบัติไปในทิศทางเดียวกัน เป็นมาตรฐานเดียวกัน และทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

จากการศึกษาชนิดการเกิดซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตร พบว่า เกษตรกรใช้บรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรประเภทแก้ว มากที่สุด และยังมีวิธีการจัดการที่ยังไม่ถูกวิธี คือ การทิ้งรวบรวมในถังขยะอันตรายชุมชน ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือเจ้าหน้าที่เกษตรอำเภอเหล่าเสือโก้ก ควรให้ความรู้ หรือมีการจัดกิจกรรมเกี่ยวกับวิธีการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมี เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรมีความรู้และวิธีการจัดการอย่างถูกวิธีโดยการนำไปรวบรวมที่จุดทิ้งขยะประเภทแก้ว เพื่อสามารถนำส่งคืนไปยังบริษัทโดยสามารถรีไซเคิลในการเป็นบรรจุภัณฑ์ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาปริมาณสารเคมีตกค้างจากซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรในบริเวณพื้นที่ฝังกลบและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงนิเวศวิทยา เช่น การศึกษาสารเคมีทางการเกษตรตกค้างในดิน การศึกษาสารเคมีทางการเกษตรตกค้างในน้ำใต้ดิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน อ.ส.ม ผู้นำชุมชน รวมไปถึงประชาชนในพื้นที่ ตำบลแพงใหญ่ อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินการเก็บวิเคราะห์ข้อมูล และให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล โดยการตอบแบบสอบถามเป็นอย่างดีทำให้ได้ข้อมูลในการวิเคราะห์อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2556). *การจัดการสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์คงค้าง.* กรุงเทพฯ: สำนักจัดการ กากของเสีย และสารอันตราย

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). *แนวทางการจัดการของเสียอันตรายจากชุมชน*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดมีเดียเพรส.

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). *แบบฝึกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล*. กรุงเทพฯ: สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย.

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). *สารเคมีป้องกันศัตรูพืชและสัตว์คงค้าง*. กรุงเทพฯ:สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย.

จิตติพัฒน์ สืบสิมมา. (2560*). พฤติกรรมการใช้และการป้องกันตนเองจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรเพาะปลูกพริกผู้ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช: กรณีศึกษา ตำบลสวนกล้วย อำเภอกันทรลักษ์ จังหวัดศรีสะเกษ* วารสารพิษวิทยาไทย.

จิราภรณ์ หลาบคำ และคณะ. (2559). *พฤติกรรมการจัดการซากบรรจุภัณฑ์เคมีทางการเกษตรของเกษตรกรบ้านเกษตรพัฒนาเหนือและบ้านเกษตรสามัคคี ตำบลคำขวาง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี .มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี;.

ชาญศักดิ์ สุภรโภคี. (2555). *รูปแบบการบริหารที่เหมาะสมในการจัดการของเสียอันตรายในบ้านเรือนประชาชนในเขตจังหวัดนครราชสีมา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม,สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์.

ดิษฐพล ใจซื่อ และคณะ. (2560). *สถานการณ์ขยะและการจัดการขยะที่ต้นทางในชุมชน อำเภอวาปีปทุม จังหวัดมหาสารคาม*.วารสารโรงพยาบาลมหาสารคามปีที่ 14 ฉบับที่ 3 (กันยายน - ธันวาคม).

ทัศนีย์วรรณ นวลหนู. (2556). *การจัดการของเสียอันตรายจากชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

คุณภาพน้ำบาดาลของครัวเรือนบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี

สิทธิชัย ใจขาน[1*] นันทิยา พานอ่อน[1] และสุภาณี จันทร์ศิริ[1]
[1]กลุ่มวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม
วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail :sitthichia.chaikhan@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลของครัวเรือนบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี พื้นที่ศึกษา คือ บ้านหนองแปน ตำบลโพธิ์ไทร อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี (รัศมีไมเกิน 1 กิโลเมตร จากสถานที่กำจัดมูลฝอย) เก็บข้อมูลจากครัวเรือนที่ใช้น้ำบาดาลในการอุปโภคหรือบริโภค จำนวน 10 ครัวเรือน โดยใช้แบบสำรวจสภาพแวดล้อมทั่วไป และเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลทั้ง 10 แห่ง ไม่ผ่านมาตรฐานตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 โดยคุณภาพน้ำทางกายภาพ พบว่า ค่าความขุ่น และ ความกระด้างทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด แต่ค่าพีเอช (pH) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 10 แห่ง คุณภาพน้ำบาดาลทางชีวภาพ พบว่า คาแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียชนิดอี.โคไล (E.coli) ไม่ผ่านมาตรฐาน 5 แห่ง นอกจากนี้สภาพแวดล้อมทั่วไปทางด้านกายภาพพบแหล่งน้ำเสียในบริเวณใกล้เคียง เช่น มูลสัตว์ น้ำจากกิจกรรมในครัวเรือน แหล่งน้ำขัง บ่อเกรอะ คอกเลี้ยงสัตว์ ห้องน้ำ ห้องส้วม และการอาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่กำจัดมูลฝอยอาจเป็นสาเหตุที่สามารถทำให้น้ำบาดาลเกิดการปนเปื้อนได้ ดังนั้นทางเทศบาลควรมีการจัดการอบรมสุขาภิบาลให้กับผู้ที่ใช้น้ำบาดาลในการอุปโภคหรือบริโภคในครัวเรือน และให้การสนับสนุนในการสร้างแรงจูงใจในการพัฒนามาตรฐานด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม เพื่อให้การจัดการน้ำใช้ในครัวเรือนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : น้ำบาดาล น้ำอุปโภค สถานที่กำจัดมูลฝอย

Groundwater quality of the household at the waste disposal site, Phibun Mangsahan Municipality Ubon Ratchathani

Sitthichai chaikhan* Nunthiya Phan-on[1] and Supanee Junsiri[1]
[1] Environmental Health College of Medicine and Public Health Ubon Ratchathani University
*E-mail : sitthichia.chaikhan@gmail.com

Abstract

This survey research aimed to study the groundwater quality using in households in Phibun Mangsahan municipal waste disposal UbonRatchathani province. Study area was Ban Nong Paen Phibun Mangsahan district Ubon Ratchathani province, which is in 1 km radius from waste disposal site. Data were collected by a questionnaire from 10 households using groundwater for consumption. Data were analyzed by using of descriptive statistics, including frequencies, percentages, means, and standard deviation. There were 10 stations that samples did not pass the standard criteria of Announcement of the Ministry of Natural Resources and Environment on the topic of criteria and measures for academic prevention of public health and prevention of environmental toxicity in 2008. The investigation of physical water quality was found that the turbidity and hardness values passed a standard for all samples. But the pH did not pass for all 10 samples. The results of the biological index were found that coliform bacteria and E. coli bacteria did not pass the standard for 5 stations. It was found that the general environment nearby disposal area, such as wastewater from household activities,

septic tanks, animal husbandry, toilets, and living close to solid waste disposal sites could be the cause of contamination of groundwater.
Therefore, the extra training about sanitation especially wastewater control should be provided for people living nearby the disposal site, then those households will gain more knowledge and increasing their motivation about the environmental health issue.
Keywords : Groundwater, Water Consumption, Waste Disposal Site

บทนำ

เทศบาลเมืองพิบูลมังสาหารเป็นหนึ่งในเทศบาลที่มีหน้าที่รับผิดชอบการจัดการมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากบานพักอาศัย ตลาดสด อาคารพาณิชย แหลงทองเที่ยว สถานที่ราชการและอื่นๆ บนพื้นที่ 6 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นเกิดขึ้นประมาณ 17 ตันตอวัน โดยมีการกำจัดขยะด้วยวิธีการฝังกลบขยะอยูที่ตั้งอยู่ในเขตบ่านสนามชัย ตำบลโพธิ์ไทร อำเภอพิบูลมังสาหาร โดยมีพื้นที่ประมาณ 29 ไร่ และหางจากเขตเทศบาลประมาณ 5.5 กิโลเมตร ทั้งนี้มีชุมชนที่อาศัยอยูรอบสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลเมืองพิบูลมังสาหาร ซึ่งอยูในรัศมีไมเกิน 1 กิโลเมตร (ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์การตั้งสถานที่กำจัดขยะใกล้แหล่งชุมชน)[1] จำนวนประชากรประมาณ 100 คน (28 ครัวเรือน) ครัวเรือนบางส่วนยังมีการใชน้ำบาดาลเปนแหลงน้ำหลักในการอุปโภค ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสี่ยงในการได้รับการปนเปื้อนของน้ำบาดาลเนื่องจากอยูใกล้กับบริเวณสถานที่ฝังกลบขยะ โดยมีข้อมูลจากการศึกษาซึ่งพบว่า ในกองขยะมูลฝอยจะมีจุลินทรียที่ทำหนาที่ยอยสลาย เมื่อน้ำฝนตกลงมาชะมูลฝอยแลวซึมลงดานลางจะทำใหเกิดน้ำชะมูลฝอย ซึ่งน้ำชะมูลฝอยอาจมีการปนเป อนของมลสาร เชน โลหะหนัก สารอินทรีย และจุลินทรียที่กอใหเกิดโรคอยูดวย จากการศึกษาคุณภาพน้ำดื่มของหมู่บ้านโนนแดง ตำบลโพธิ์ใหญ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี[2] พบวา การปนเปอนของน้ำใตดินสวนใหญเกิดจากการทิ้งของเสียหรือน้ำเสียลงสูพื้นดินและแมน้ำจากแหลงชุมชน แหลงทิ้งขยะ การทำการเกษตรที่ใชปุยเคมี สารกำจัดแมลงและสารเคมีตาง ๆ เปนตน โดยของเสียและน้ำเสียเหลานี้จะซึมลงไปใตดินและไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล กอใหเกิดปญหาการปนเปอนของน้ำบาดาลขึ้น โดยมีผลการศึกษาจากการประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากนโยบายการจัดการขยะมูลฝอยเทศบาลนครขอนแก่น พบว่าผลกระทบต่อสุขภาพที่ประชาชนได้รับ คือ อาการเจ็บป่วย และการบาดเจ็บ ทั้งที่เป็นผลกระทบโดยตรงและโดยอ้อม ทั้งที่เป็นผลกระทบแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง เช่น โรคระบบทำงเดินอาหาร มักเกิดขึ้นกับประชาชนที่อาศัยอยู่รอบๆ พื้นที่กำจัดขยะ เนื่องจากในบริเวณพื้นที่กำจัดขยะมีแมลงวันเป็นจำนวนมาก อาการผื่นคันซึ่งเกิดจากการที่มีน้ำชะมูลฝอยจากกองขยะไหลปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำโดยเฉพาะฤดูฝน อีกทั้งผลกระทบในด้านสิ่งแวดล้อม บริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยหรือบริเวณที่มีกองขยะตั้งสะสมอยู่จะมีการปนเปื้อนของสิ่งหรือสารอันตราย เช่น โลหะหนัก ไดออกซิน ก๊าซพิษต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน และอากาศ[3] ดังนั้นด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการทำการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลในชุมชนบานหนองแปน ตำบลโพธิ์ไทร อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานีที่อาศัยอยู รอบสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลเมืองพิบูลมังสาหาร เพื่อเก็บรวบรวมเป็นข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดสุขาภิบาลให้มีความสะอาดถูกสุขอนามัยและปลอดภัยปราศจากจากโรคติดต่อและลดความเสี่ยงอันตรายจากการใช้อุปโภคบริโภคน้ำบาดาลต่อไป

วัตถุประสงค์

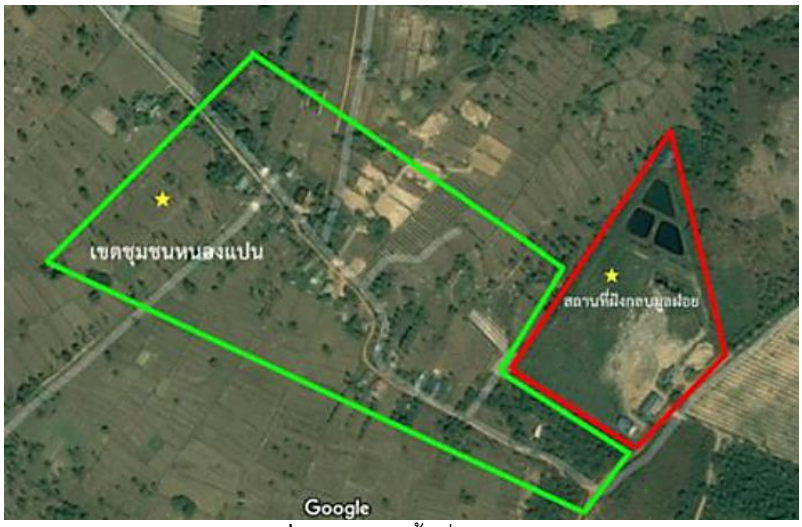
เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลของครัวเรือนในบานหนองแปน ตำบลโพธิ์ไทร อำเภอพิบูลมัง สาหาร จังหวัดอุบลราชธานี

วิธีการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยมีประชากรและกลุ่มตัวอย่างดังนี้

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา น้ำบาดาลของครัวเรือนในบ้านหนองแปน ตำบลโพธิ์ไทร อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี อยู่ในบริเวณใกล้สถานที่กำจัดมูลฝอยตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป และบริเวณที่ตั้งบ้านอยู่ในระยะไม่เกิน 1 กิโลเมตร จำนวน 28 หลังคาเรือน เมื่อได้ทำการสำรวจการใช้น้ำของประชากรพบว่า จำนวนของครัวเรือนที่ใช้ยังมีการน้ำบาดาลอยู่ทั้งหมด 10 ครัวเรือน (จาก 28 ครัวเรือน)



ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ในการศึกษา

วิธีการสุ่มตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลจากประชากร คือ ครัวเรือนที่มีการใช้น้ำบาดาลในบ้านหนองแปน ตำบลโพธิ์ไทร อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี โดยสุ่มตัวอย่างน้ำบาดาลจากครัวเรือนละ 1 จุด/ครัวเรือน โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากปลายท่อจ่ายน้ำใช้ในครัวเรือนที่มีการใช้งานมากที่สุด มีระยะเวลาการศึกษาระหว่างเดือนสิงหาคม 2560 –มกราคม 2561 การเก็บตัวอย่างดำเนินการตามวิธีในประกาศกรมทรัพยากรธรณีฉบับที่ 9 (พ.ศ.2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบสำรวจข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้น้ำบาดาล ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสำรวจจากแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ให้สอดคล้องรูปแบบการใช้น้ำบาดาลที่เป็นปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการปนเปื้อนของน้ำ ซึ่งได้ตรวจสอบความตรงทางเนื้อหา (Content Validity) หรือความสอดคล้องระหว่างข้อความที่เขียนขึ้นในแบบสอบถามกับนิยามศัพท์ที่กำหนดไว้ โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC (Index of Item Objective Congruence) จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งข้อคำถามทุกข้อนั้นมีค่า IOC ระหว่าง 0.67-1.00 โดยแบ่งเป็น ดังนี้

- ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับบ่อบาดาล มี 5 ข้อ ได้แก่ แหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภค อายุของบ่อบาดาล ความลึกของบ่อบาดาล และการใช้ประโยชน์จากน้ำบาดาล

- สภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบบ่อบาดาล มี 4 ข้อ ได้แก่ ระยะห่างจากบ่อเกรอะ ระยะห่างจากสถานที่กำจัดมูลฝอย ระยะห่างจากแหล่งน้ำเสีย และระยะห่างจากคอกสัตว์

ตารางที่ 1 รายการพารามิเตอร์คุณภาพน้ำและวิธีการตรวจวิเคราะห์

พารามิเตอร์คุณภาพนา (Parameter)	หน่วย (Unit)	วิธีวิเคราะห์
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	Nephelometric Method
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	Electrometric Method
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	mg/l $CaCO_3$	EDTA Method
ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids)	mg/l	Gravimetric Method
ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total coliform Bacteria)	MPN/100 ml	MPN Technique
ปริมาณอี.โคไล (E.coli)	MPN/100 ml	MPN Technique

หมายเหตุ : การตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กาหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสาหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ผู้วิจัยดำเนินการขอหนังสือถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลวิจัย

2) ความอนุญาตผู้นำชุมชนและเจ้าของบ้านในการสำรวจสภาพแวดล้อมทั่วไปของบ่อบาดาลของชุมชนที่อาศัยอยู่รอบสถานที่กาจัดมูลฝอยเทศบาลเมืองพิบูลมังสาหาร เพื่อขออนุญาตออกสำรวจข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูล

3) สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากพื้นที่วิจัย โดยใช้แบบสำรวจและการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้วยวิธีการทางห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดทำรายงานผลการศึกษา

สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะหคุณภาพน้ำบาดาลที่เก็บตัวอยางน้ำจากกอกน้ำนำเสนอขอมูลโดยใชสถิติ เชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) จากพารามิเตอรที่นำเสนอขอมูลดวยคาเฉลี่ย คาเบี่ยงเบน มาตรฐาน ไดแก ความขุน (Turbidity) ความเปนกรด-ดาง (pH) ความกระดาง (Total Hardness) ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได (Total dissolved solids) แบคทีเรียกลุมโคลิฟอรมทั้งหมด (Most Probable Number) และอีโคไล (E.coli) สำหรับขอมูลคุณภาพน้ำที่ไดจากการวิเคราะหแตละพารามิเตอรจะนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใชในการอุปโภค บริโภค ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดลอม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑและมาตรฐานในทางวิชาการสำหรับการปองกันดานสาธารณสุขและการปองกันใน เรื่องสิ่งแวดลอมเปนพิษ พ.ศ. 2551

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้น้ำบาดาล

จากการศึกษา พบวา แหลงน้ำที่ชุมชนใช้อุปโภคมากที่สุด คือ น้ำบาดาล คิดเปนรอยละ 100.0 แหลงน้ำที่ใชบริโภคมากที่สุดคือ น้ำขวด คิดเปนรอยละ 90.0 อายุบอบาดาลของชาวบานสวน ใหญมีอายุระหวาง 6 – 10 ป คิดเปนรอยละ 60.0 ความลึกของบ่อบาดาลสวนใหญมีความลึกอยู ระหวาง 30 – 35 เมตร และ 36 – 40 เมตร มากที่สุด คิดเปนรอยละ 40.0 ความกวางของบอบาดาลส่วนใหญมีขนาด 4 นิ้ว คิดเปนรอยละ 90.0 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวน และรอยละของขอมูลทั่วไปของบอบาดาล (N=10)

รายการขอมูล	จำนวน หลังคาเรือน
แหลงน้ำที่ใชอุปโภค	
น้ำบาดาล	10
น้ำประปา	7
น้ำขวด	2
แหลงน้ำที่ใชบริโภค	
น้ำประปา	1
น้ำบรรจุขวด	9
อายุการใช้งานของบอบาดาล (ป)	
1 – 5	1
6 – 10	6
11 – 15	3
Mean : 9.2 SD : 4.1	
ความลึกของบอบาดาล (เมตร)	
30 – 35	4
36 – 40	4
41 – 45	2
Mean : 37.8 SD : 4.7	

รายการขอมูล	จำนวน หลังคาเรือน
ลักษณะการใช้น้ำบาดาลในการอุปโภค (ตอบไดมากกวา 1 ขอ)	
ทำความสะอาดร่างกาย (อาบน้ำ)	9
ทำความสะอาดเสื้อผ้า (ซักผา)	9
ทำความสะอาดภาชนะใส่อาหาร (ล้างจาน)	9
ทำการเกษตร/รดน้ำต้นไม้	10

บริเวณโดยรอบบอบาดาลมีแหลงกำเนิดที่อาจกอใหเกิดการปนเปอน ไดแก บอเกรอะ คอกเลี้ยงสัตว แหลงน้ำเสียของบาน และสถานที่กำจัดมูลฝอย มากที่สุดคิดเปนรอยละ 10 0.0 มีระยะหางจากบอบาดาลถึงบอเกรอะสวนใหญอยูระหวาง 15 – 20 เมตร มากที่สุด คิดเปนรอยละ 80.0 ระยะหางจากบอบาดาลถึงคอกเลี้ยงสัตวสวนใหญอยูระหวาง 5 - 10 เมตร มากที่สุด คิดเปนร้อยละ 50.0 ระยะหางจากบอบาดาลถึงแหลงน้ำเสียของบานสวนใหญ 10 - 15 เมตร มากที่สุด คิดเปนร้อย ละ 40.0 ระยะหางจากบอบาดาลถึงสถานที่กำจัดมูลฝอยอยูระหวาง 601 - 900 เมตร คิดเปนร้อยละ 60.0 (ดังตารางที่ 3) จากการสังเกตของผู้วิจัย ยังพบว่าสภาพแวดล้อมโดยรวมนั้นมีแหลงทำใหเกิดความสกปรก เชน พบมูลสัตวใกลบอบาดาล คอกสัตว น้ำทิ้งจากการซักล้าง หรือลางภาชนะ มีแหลงน้ำขัง มีแหลงน้ำเสีย มีแหลงทำใหเกิดความสกปรกและปนเปอน เศษใบไม มูลสัตว เศษขยะมูลฝอย

ตารางที่ 3 สภาพแวดลอมบริเวณโดยรอบบอบาดาล (n = 10)

รายการขอมูล	จำนวน หลังคาเรือน
ระยะหางจากบอบาดาลถึงบอเกรอะ (เมตร)	
15 – 20	8
26 – 30	1
31 – 40	1
Mean : 20.5 SD : 6.8	
ระยะหางจากบอบาดาลถึงคอกเลี้ยงสัตว (เมตร)	
5 - 10	5
11 – 15	3
16 – 20	1
21 – 30	1
Mean : 26.5 SD : 20.8	
ระยะหางจากบอบาดาลถึงสถานที่กำจัดมูลฝอย (เมตร)	
50 – 300	1
301 - 600	6
601 - 900	3
Mean : 625 SD : 282.1	
ระยะหางจากบอบาดาลถึงแหลงน้ำเสีย (เมตร)	
10 - 15	4
16 – 20	1
21 – 30	3
31 – 40	1
41 - 80	1
Mean : 26.5 SD : 20.8	

ส่วนที่ 2 คุณภาพน้ำบาดาลทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

การแสดงผลการวิเคราะหคุณภาพน้ำ พบว่า ด้านกายภาพ ได้แก่ คาความขุน (Turbidity) ทั้ง 10 จุด เมื่อเทียบกับเกณฑมาตรฐานตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดลอม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑและ มาตรการในทางวิชาการสำหรับการปองกันดานสาธารณสุขและการปองกันในเรื่องสิ่งแวดลอมเปนพิษ พ.ศ. 2551 กำหนดเกณฑมาตรฐานอยูในชวงที่เหมาะสม 5 NTU พบวา คาเฉลี่ยความขุนตัวอยางน้ำ บาดาลทั้ง 10 จุด ผานเกณฑมาตรฐาน ความเปนกรด-ดาง ตัวอยางน้ำบาดาลทั้ง 10 จุด ไมผานเกณฑมาตรฐาน คุณภาพทางเคมีในพารามิเตอร์ความกระดางทั้งหมด (Total Hardness) พบวา ตัวอยางน้ำบาดาลทั้ง 10 จุด ผานเกณฑมาตรฐานทั้งหมด สำหรับผลการวิเคราะหคุณภาพน้ำบาดาลทางชีวภาพ พบว่า คาแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียชนิดอี.โคไล (E.coli) ไม่ผ่านมาตรฐาน 5 จุด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณภาพน้ำบาดาลทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	จุดเก็บตัวอย่าง										ค่ามาตรฐาน
		จุดที่ 1	**จุดที่ 2**	**จุดที่ 3**	**จุดที่ 4**	**จุดที่ 5**	**จุดที่ 6**	**จุดที่ 7**	**จุดที่ 8**	**จุดที่ 9**	**จุดที่ 10**	
ความขุ่น	NTU	0.55	0.27	1.75	1.94	0.56	0.15	0.23	0.11	1.23	0.31	ไม่เกิน 5
กรด-ด่าง (pH)	-	6.67	6.54	6.55	6.67	6.3	6.52	6.59	6.43	6.64	6.51	ระหว่าง7.0–8.5
ความกระด้างทั้งหมด	mg/l as $CaCO_3$	9.13	7.73	7.87	7.47	ND	0.17	0.15	0.15	0.05	0.04	ไม่เกิน 300
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	MPN/100ml	ND	ND	17.00	5.00	20.00	12.00	ND	ND	6.29	ND	ไม่เกิน 2.2
อี.โคไล (E.coli)	MPN/100ml	ND	ND	6.00	3.00	27.00	5.00	ND	ND	6.10	ND	ต้องไม่พบ

หมายเหตุ: ND (Not detect) หมายถึง ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวน้อยจนไม่สามารถตรวจวัดได้

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะอยู่ในช่วง 6.30 – 6.67 พบว่า ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสม ซึ่งน้ำที่มีสภาพเป็นกรดเนื่องจากสามารถเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติในบริเวณที่มีสินแร่บางชนิดอยู่ในดิน เช่น ซัลไฟด์ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับ[4] ได้ศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลทางด้านกายภาพ และเคมี ในเขตบ้านหนองปลาปาก ตำบลขามใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ยทเท่ากับ 6.15 นอกจากนี้อาจมีผลมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปจะประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำใต้ดินอาจจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง อย่างไรก็ตามความเป็นกรดในน้ำนั้นมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นสาเหตุของการสึกกร่อนของโลหะที่น้ำนั้นไหลผ่าน โดยเฉพาะการสูบน้ำใต้ดินมาใช้จ้าเป็นต้องกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนเสียก่อน ดังนั้นการสูบน้ำใต้ดินมาใช้จำเป็นต้องกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนและพีเอชต่ำ โดยการเติมอากาศ หรือ ปรับค่าพีเอชด้วยปูนขาว หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ค่าความขุ่น (Turbidity) ตัวอย่างน้ำทั้ง 10 จุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 กำหนดเกณฑ์มาตรฐานอยู่ในช่วงที่เหมาะสม 5 NTU ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฤทธิเดช บุญมา และขวัญเนตร สมบัติสมภพ[5] ที่ได้ศึกษาการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล พบว่าน้ำบาดาลในเขตเทศบาลตำบลหลักห้า มีค่าความขุ่นต่ำสุดเท่ากับ 0.01 NTU และมีค่าสูงสุด 1.77 NTU เมื่อนำผลการการวิเคราะห์ความขุ่นมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ พบว่าค่าความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.33 NTU อยู่ในเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม เนื่องจากน้ำบาดาลหรือน้ำใต้ผิวดินมีการซึมผ่านชั้นดิน ซึ่งชั้นดินจะเป็นตัวกรองที่สกัดกั้นความขุ่นไว้ขณะที่น้ำซึมผ่านชั้นดินลงไปกักเก็บในช่องโพรง ที่ระดับลึกตั้งแต่ 10 เมตร ทำให้ผ่านการละลายแร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในชั้นใต้ดิน จึงทำให้น้ำมีระดับความขุ่นที่น้อยลง

ค่าความกระด้าง เมื่อน้ำมาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกัน ด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551 กำหนดค่าความกระด้างมาตรฐานอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่เกินกว่า 300 mg/L ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการวิเคราะห์คุณภาพ

น้ำบาดาลและน้ำผิวดินบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี[6] พบว่า ความกระด้างทั้งหมดในน้ำบาดาลมีค่า 204.70 ± 69.53 มก./ล. ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน (ไม่เกิน 300 มก./ล.) เพราะน้ำบาดาลมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและความกระด้างทั้งหมดสูงกว่าในน้ำผิวดิน เนื่องจากน้ำบาดาลไหลผ่านโพรงที่อยู่ในชั้นหินทำให้มีแร่ธาตุละลายอยู่มาก ไอออนที่ละลายส่วนใหญ่ คือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) สังเกตจากสีของน้ำเมื่อสัมผัสอากาศที่มีออกซิเจน จะทำให้เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ซึ่งมีสีส้มนอกจากนั้นน้ำบาดาลมีไอออนในกลุ่มของธาตุที่เป็นส่วนประกอบในเปลือกโลก ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียมละลายอยู่ ส่วนในน้ำผิวดินของแข็งที่พบส่วนใหญ่เป็นของแข็งแขวนลอย สังเกตได้จากลักษณะทางกายภาพ เช่น ความขุ่นของน้ำ

ผลจากการศึกษาคุณภาพน้ำด้านชีวภาพในครั้งนี้มีกว่าครึ่งหนึ่งที่คุณภาพไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องรูปแบบการจัดการน้ำบาดาลให้ถูกหลักสุขาภิบาล โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนบ้านเก่าน้อย ตำบลธาตุ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี[7] ซึ่งผลการวิจัยพบว่า คุณภาพน้ำบาดาลด้านชีวภาพ พบโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดทุกจุด ผลที่เกิดขึ้นนั้นอาจมีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมโดยรวมที่มีแหล่งที่สามารถทำให้เกิดความสกปรก เช่น เศษใบไม้ มูลสัตว์ คอกสัตว์ น้ำทิ้งจากการซักล้างหรือล้างภาชนะ บ่อเกรอะ และสถานที่กำจัดมูลฝอย โดยสิ่งต่างๆ เหล่านี้อยู่ในระยะห่างจากบ่อบาดาลไม่เกิน 20 เมตร ทั้งนี้ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการเจาะน้ำบาดาลและการเลิกเจาะน้ำบาดาล พ.ศ. 2551 กำหนดไว้ว่า ตำแหน่งหลุมเจาะต้องอยู่ห่างจากชายคาไม่น้อยกว่า 1 เมตร และอยู่ห่างจากส้วมซึมหรือถังเกรอะ หรือร่องระบายน้ำโสโครกไม่น้อยกว่า 30 เมตร ดดยทั่วไปนั้นน้ำบาดาลในธรรมชาติจะปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ แต่หากมีการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลโดยการเจาะ การสร้างบ่อที่ไม่ได้มาตรฐาน ตลอดจนการปล่อยน้ำเสียลงในบ่อน้ำบาดาล อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ยิ่งเมื่อบ่อน้ำบาดาลใช้ไปนาน ๆ การรั่วซึมของบ่อจากบริเวณข้าง ๆ มีส่วนทำให้สิ่งปนเปื้อนและจุลินทรีย์ไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล การตรวจพบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform bacteria) และ ฟีคอลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ แสดงว่าชั้นน้ำบาดาลมีการปนเปื้อนของอุจจาระจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภคโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำและกำจัดเชื้อก่อโรคต่าง ๆ ก่อนนำมาบริโภค

ข้อจำกัดในการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และงบประมาณ จึงยังไม่ได้มีการตรวจวิเคราะห์ได้ทุกพารามิเตอร์ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ประชาชนผู้ใช้น้ำบาดาลในหมู่บ้าน ควรมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทั่วไปทางกายภาพของบ่อบาดาลให้ถูกสุขลักษณะ โดยสร้างบ่อบาดาลให้มีขอบบ่อสูงไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ไม่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีน้ำขัง บ่อเกรอะ ห้องน้ำ หรือห้องส้วม มีฝาปิดที่มิดชิด จัดทำรั้วกั้นสัตว์ต่าง ๆ และแมลงนำโรค ส่วนภาชนะพักน้ำ ควรตั้งสูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร มีฝาปิดที่มิดชิด มีการตรวจสอบ บำรุงรักษา และทำความสะอาดภาชนะพักน้ำอย่างถูกวิธี เพื่อป้องกันการแพร่กระจาย และการปนเปื้อนของเชื้อโรคต่าง ๆ
2. ประชาชนผู้ใช้น้ำบาดาลในหมู่บ้านควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนที่จะนำมาอุปโภค บริโภค เช่น การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์และฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ ในน้ำด้วยวิธีการต้มที่อุณหภูมิ 90 – 100°C ประมาณ 15 – 30 นาที เพื่อให้น้ำมีความสะอาดและลดจำนวนเชื้อก่อโรค
3. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล จังหวัดอุบลราชธานี ควรเข้ามามีส่วนร่วมในการตรวจสอบคุณภาพน้ำดาลของหมู่บ้าน และพื้นที่ใกล้เคียงให้ และพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระดับครัวเรือนให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวังและป้องกันปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อโรคต่าง ๆ เช่น เชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เนื่องจากเป็นชุมชนที่อยู่ใกล้สถานที่ฝังกลบขยะกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดในการตั้งสถานกำจัดมูลฝอยที่ต้องมีระยะห่างจากชุมชนไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษารูปแบบการใช้น้ำและการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เหมาะสมของชุมชนบ้านหนองแปน รวมถึงศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำบาดาล เนื่องจากชุมชนบ้านหนองแปนอยู่ใกล้สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

2. ควรมีการศึกษาถึงคุณภาพชีวิต ความเสี่ยงต่อสุขภาพ และปัจจัยที่ประชาชนยังคงอยู่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้กับสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของประชาชนให้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารงานสาธารณสุข เทศบาลพิบูลมังสาหาร ผู้ใหญ่บ้านหนองแปน ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลวิจัย ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ และผู้เข้าร่วมวิจัยทุกทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ. (2553). *คู่มือการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการจัดการขยะมูลฝอย ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น.* สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2560, จาก http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER17/DRAWER002/GENERAL/DATA0000/00000193.PDF

[2] สมฤทัย คำกอง. (2554*). คุณภาพน้ำดื่มของหมู่บ้านโนนแดง ตำบลโพธิ์ใหญ่ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี.* รายงานการวิจัย, วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

[3] เลิศชัย เจริญธัญรักษ์และคณะ. (2560). *ประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากนโยบายการจัดการขยะมูลฝอยเทศบาลนครขอนแก่น.* สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2560, จาก http://opac.psu.ac.th/BibDetail.aspx?bibno=249824

[4] จตุพร ดอนเส สุกัญญา เพ็งพา และสุนิดา ทองโท. (2557). *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลในเขตเทศบาลตำบลหลักห้า อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร.

[5] ฤทธิเดช บุญมา และขวัญเนตร สมบัติสมภพ. (2556). *การศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลในเขตพื้นที่บ้านหนองปลาปาก ตำบลขามใหญ่อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, คณะวิทยาศาสตร์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, อุบลราชธานี.

[6] จารินี วังสว่าง .(2554). *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลและน้ำผิวดินบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร.

[7] จิราภรณ์ หลาบคำ. (2557*). รูปแบบการจัดการน้ำบาดาลให้ถูกสุขาภิบาลโดยการมีส่วนร่วมของชุมชนบ้านเก่าน้อย ตำบลธาตุอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี.* รายงานการวิจัย, งานวิจัยชุมชนกับการจัดการทรัพยากร.

การศึกษาลักษณะทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง

วรรณิภา พรเวธน์จินดา[1*] พรรทิวา นามบุญ[2] ระวิวรรณ แก้วอมตวงศ์[2] และ จินตนา นภาพร[2]
[1]หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาศาสตร์แห่งเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์สุขภาพ
กลุ่มวิชาเภสัชเคมีและเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]กลุ่มวิชาเภสัชเคมีและเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail : wannipa.po.59@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง โดยทำการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งหมด 4 สภาวะ ได้แก่ น้ำที่อุณหภูมิ 70 °C น้ำต้มเดือด absolute ethanol และ ethanol 70% และ ใช้กระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ กระบวนการหมัก (Maceration) Probe sonication และ Water bath sonication หลังจากนั้น ตรวจสอบสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองด้วยวิธีรงคเลขผิวบาง (Thin layer chromatography) พบการปรากฏของสารกลุ่ม flavonoids, phenolic compounds และ tannins ในสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Bioautography และวิธี Broth microdilution พบว่า สารสกัดในชั้น absolute ethanol มีผลการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Propionibacterium acnes* ได้ดีที่สุดในทุกกระบวนการสกัด ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นความรู้ที่ช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองและนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ : ส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง พฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ รงคเลขผิวบาง *Staphylococcus aureus* *Staphylococcus epidermidis* *Pseudomonas aeruginosa* *Propionibacterium acnes*

Phytochemical Screening and *In Vitro* Antimicrobial Study of Aerial Part Extracts of Triploid Marigolds

Wannipa Pornwetjinda[1*] Phantiwa Namboon[2] Rawiwun Kaewamatawong[2] and Jintana Napaporn[2]
[1]Master of Sciences Program in Cosmetic Sciences and Health Products,
Division of Pharmaceutical Chemistry and Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
[2]Division of Pharmaceutical Chemistry and Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
[*]E-mail : wannipa.po.59@ubu.ac.th

Abstract

The objectives of this study were to screen the phytochemical components and to assess an *in vitro* antimicrobial effect of aerial part extracts of Triploid Marigolds. The extraction solvents utilized in this study were hot water at a temperature of 70 °C, boiling water, absolute ethanol and ethanol 70%. The extraction processes were maceration, probe sonication, and water bath sonication. The crude extracts were subsequently screened for phytochemical components using thin layer chromatography. The results indicated that major active components found in aerial part extracts of Triploid Marigolds were flavonoids, phenolic compounds and tannins. An *in vitro* antibacterial activity of the crude extracts was primarily assessed by bioautography and broth microdilution for MIC and MBC. The absolute ethanol extracts exhibited the strongest antibacterial activity against 4 microbes e.g., *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, and *Propionibacterium acnes,* regardless extraction processes. The results of this study could demonstrate the potential of aerial part extracts of Triploid Marigolds and could help to promote the utilization of aerial part extract of Triploid Marigolds, leading to further study to develop commercial products in the future.

Keywords : Aerial Part Of Triploid Marigolds, Phytochemical, Antibacterial Activity, Thin Layer Chromatography, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Propionibacterium acnes*

บทนำ

ดาวเรืองเป็นไม้ดอกชนิดหนึ่งที่คนไทยรู้จักดี เนื่องจากเป็นไม้ดอกที่มีความสวยงาม คงทนต่อสภาพแวดล้อมในประเทศไทย และสามารถให้ดอกได้ในระยะเวลาอันสั้น จึงเป็นที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ดาวเรืองมีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศเม็กซิโกและประเทศในแถบทวีปอเมริกาใต้ แม้ว่าดาวเรืองจะเป็นดอกไม้ที่คนไทยรู้จักกันมานาน แต่ดาวเรืองสายพันธุ์ดอกใหญ่เพิ่งมีมาได้ไม่นาน เพราะดอกดาวเรืองพันธุ์ดอกใหญ่นั้น "พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9" ทรงนำพันธุ์ดาวเรืองที่ทรงคัดเลือกเข้ามาจากประเทศเนเธอร์แลนด์เพื่อนำมาปลูกเป็นพืชสวนในโครงการส่วนพระองค์เมื่อปี 2510 เพื่อลดพื้นที่ในการปลูกฝิ่นและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร

ประโยชน์ของดาวเรืองนอกจากจะตัดดอกขายเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรแล้ว ยังสามารถใช้เป็นสารอาหารในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อการบำรุงสายตา เนื่องจากมีส่วนประกอบของสาร lutein และ zeaxanthin ที่มีบทบาทสำคัญในการปกป้องดวงตา ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันเพื่อป้องกันเซลล์รับแสง (photoreceptor cells) จากอนุมูลอิสระที่เซลล์สร้างขึ้น เนื่องมาจากมีปริมาณออกซิเจนสูงอีกด้วย (คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2560)

ในส่วนของใบดาวเรือง การนำมาใช้ประโยชน์ยังมีน้อย จะพบได้เฉพาะในกลุ่มหมอพื้นบ้านที่ใช้เป็นยาเย็น ทาแผลเน่าเปื่อย ฝีชนิดต่าง ๆ โดยใช้น้ำคั้นจากใบเพื่อใช้หยอด แก้เจ็บหู เป็นยาฟอกเลือด ขับลม ละลายเสมหะ ไอ หลอดลมอักเสบ (MedThai, 2560) และในกลุ่มเกษตรกรที่มีการใช้ใบ ทำเป็นน้ำหมักฉีดไล่ศัตรูพืช หรือ ไถกลบเพื่อเป็นปุ๋ย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพของใบดาวเรือง พบว่า ส่วนของใบมีสารในกลุ่ม alkaloids ที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Staphylococcus aureus* ที่พบมากในผิวหนัง (Das and Mishra, 2012) และยังพบว่า สารสกัดในชั้น mathanol ของใบดาวเรือง มีสารประกอบกลุ่ม alkaloids, tannins, flavonoids และ Phenolic compounds ซึ่งมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่อ *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella aerogenes* ซึ่งเป็นเชื้อประจำถิ่นที่พบในผิวหนังของมนุษย์ (Farjana et al., 2014) โดยในผิวหนังของมนุษย์มีเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นอาศัยอยู่หลายชนิด ชนิดที่พบบ่อยได้แก่ *Staphylococcus aurues*, *Staphylococcus epidermidis* ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคทางผิวหนังชั้นตื้น หรือการติดเชื้อที่รุนแรงได้ (Rashtak et al., 2012)

นอกเหนือจากการติดเชื้อดังกล่าวแล้ว ผิวของมนุษย์ยังอาจเกิดความผิดปกติของรูขุมขน ต่อมไขมัน ระดับฮอร์โมน ส่งผลให้การผลิตไขมันที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการอุดตันรูขุมขน และหากการอุดตันนั้นทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนในรูขุมขนจะส่งผลทำให้เชื้อแบคทีเรียโดยเฉพาะ *Propionibacterium acnes* เจริญเติบโตได้ดี ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถทำให้เกิดสิวได้ หากเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่บนผิวหนัง เช่น *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* ที่สามารถสร้างเอนไซม์ต่าง ๆ กระตุ้นการอักเสบของสิว ทำให้เกิดการติดเชื้อรุนแรงขึ้น อาจส่งผลให้เกิดสิวอักเสบรุนแรงและมีหนองได้ (Lertsatitthanakorn et al., 2006)

จากการศึกษาค้นคว้าฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากใบดาวเรืองดังที่กล่าวในเบื้องต้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพเพื่อใช้ในการดูแลผิวที่เกิดสิว แต่กลับพบว่า ยังไม่มีการนำสารสกัดจากใบหรือสารสกัดจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ จากสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าให้กับส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง และนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ สามารถเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกดาวเรืองต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมส่วนเหนือดินต้นดาวเรือง

เก็บส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองที่ตัดดอกแล้ว (ส่วนของลำต้นและใบ) จากสวนบ้านตาติด ตำบลโนนผึ้ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ในช่วงเดือนมิถุนายน จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมหรือวัชพืช ทำให้แห้ง โดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาบดเป็นผงให้ละเอียด และเก็บในภาชนะที่ป้องกันแสง

2. การสกัดสารสำคัญจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง

นำผงแห้งของส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง 10 กรัม มาสกัดสารด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Solvent extraction) โดยใช้ตัวทำละลายดังนี้ 1) น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 ºC 2) น้ำต้มเดือด 3) absolute ethanol และ 4) ethanol 70% ปริมาณ 100 mL ทำการ

สกัดด้วยกระบวนการสกัดที่แตกต่างกันจำนวน 6 สภาวะ คือ 1) กระบวนการหมัก (maceration) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2) กระบวนการหมัก (maceration) โดยเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและหมักต่อจนครบ 24 ชั่วโมง 3) Probe sonication นำไป sonicate ที่ 50% sonication frequency ที่เวลา 2 นาที 4) Probe sonication นำไป sonicate ที่ 50% sonication frequency ที่เวลา 5 นาที ด้วยเครื่อง IKA® T10 basic ULTRA - TURRAX® 5) Water bath sonication นำไป sonication เป็นเวลา 30 นาที และ 6) Water bath sonication นำไป sonication เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ Water bath sonication Branson 5510 Sonicator จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปกรองผ่านกระดาษกรองแล้วนำไปทำให้แห้ง โดยสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 ºC และ น้ำต้มเดือด นำไปทำแห้งด้วยวิธี freeze drying ส่วนสารสกัดที่สกัดด้วย absolute ethanol นำไประเหยโดยการใช้ rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และสารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ethanol 70% นำไประเหยโดยการใช้ rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามด้วยวิธี freeze drying

3. การตรวจสอบลักษณะทางพฤกษเคมีเพื่อศึกษาองค์ประกอบกลุ่มสารในสารสกัดของส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองด้วยวิธี Thin layer chromatography (TLC)

3.1 การวิเคราะห์กลุ่มสารด้วยวิธี Thin layer chromatography

เตรียมสารสกัดโดยการทำละลายใน methanol (20 mg/mL) นำไป sonication แล้วกรองด้วยหัวกรองขนาด 0.45 µm จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาตรวจสอบลักษณะทางพฤกษเคมีด้วยวิธี Thin layer chromatography (TLC) โดยใช้แผ่น silica gel (silica gel GF 254) ขนาด 10×10 เซนติเมตร เป็นวัฏภาคคงที่ โดยหยดสารสกัดลงบนแผ่น TLC ปริมาตร 20 µL จากนั้นนำแผ่น TLC ที่ได้มาแยกกลุ่มสารโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ 4 ระบบ สำหรับการทดสอบสารในกลุ่ม alkaloids, flavonoids, phenolic compounds และ tannins โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ตามกลุ่มสารดังนี้ alkaloids ใช้ ethyl acetate: methanol: water (10:1.35:1) flavonoids ใช้ ethyl acetate: butanol: formic acid: water (5:3:1:1) phenolic compounds ใช้ toluene: acetone: formic acid (4.5:4.5:1) และ tannins ใช้ toluene: ethyl acetate: formic acid: methanol (3:3:0.8:0.2) จากนั้นนำแผ่น TLC ที่ได้ไปบันทึกผลด้วยภาพถ่ายภายใต้แสงอุลตร้าไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร, 366 นาโนเมตร และ visible light

3.2 การวิเคราะห์กลุ่มสารด้วยปฏิกิริยาเคมี

นำแผ่น TLC ที่ได้มาตรวจสอบกลุ่มสารโดยใช้ Spray reagent 4 ชนิด ได้แก่ Dragendorff reagent (สำหรับทดสอบสารกลุ่ม Alkaloids) , $AlCl_3$ reagent (สำหรับทดสอบสารกลุ่ม Flavonoids), Folin Ciocateau reagent และ $FeCl_3$ reagent (สำหรับทดสอบสารกลุ่ม phenolic compounds และ tannins) จากนั้นนำแผ่น TLC ที่ได้ไปบันทึกผลด้วยภาพถ่ายภายใต้แสงอุลตร้าไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร, 366 นาโนเมตร และ visible light โดยกลุ่มสารที่ปรากฏจะมีลักษณะที่แต่งต่างกัน คือ กลุ่มสาร alkaloids และ กลุ่มสาร flavonoids จะให้สารสีส้ม กลุ่มสาร phenolic compounds จะให้สารสีน้ำเงินอมฟ้า และกลุ่มสาร tannins จะให้สารสีน้ำตาลเทา นำผลที่ได้มาบันทึกตำแหน่งของสารสกัดเป็นค่าเฉพาะของสารหนึ่งในสภาวะหนึ่ง ๆ (R_f) โดยใช้สมการจากระยะทางการเคลื่อนที่ของสารหารด้วยระยะทางเคลื่อนที่ของวัฏภาค และนำผลการแยกกลุ่มสารที่พบมากที่สุด ไปทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

4. การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์

ทำการศึกษาเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสิวและโรคทางผิวหนัง 4 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Propionibacterium acnes*

4.1 การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Bioautography

4.1.1 การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย

นำเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* มาบ่มเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy broth (TSB) ที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนเชื้อ *Propionibacterium acnes* บ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมเชื้อทดสอบให้มีจำนวนเริ่มต้นประมาณ 10^8 CFU/mL โดยเทียบด้วย McFarland Standards NO. 0.5

4.1.2 การเตรียมสารสกัด

เตรียมสารสกัดใน methanol (100 mg/mL) จากนั้นนำไป water bath sonication และนำสารสกัดที่ได้ไปกรองด้วยหัวกรองขนาด 0.45 µm และเก็บในภาชนะทึบแสง

4.1.3 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง

ผสมเชื้อทดสอบที่มีจำนวนเริ่มต้นที่ 10^8 CFU/mL กับอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy agar (TSA) ที่เตรียมไว้ให้เข้ากัน จากนั้นเทอาหารที่มีเชื้อแบคทีเรียลงในจานเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มในตู้เพาะเชื้อที่ อุณหภูมิ 37 ºC โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus, Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ส่วนเชื้อ *Propionibacterium acnes* บ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลาชั่วโมง 24 ชั่วโมง

4.1.4 การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Bioautography

นำอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่มีเชื้อเจริญเติบโตวางแนบกับแผ่น TLC ที่ผ่านการตรวจสอบกลุ่มสารทางพฤกษเคมีแล้ว จากนั้นนำไปบ่ม โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ส่วนเชื้อ *Propionibacterium acnes* บ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบจำนวน 2 ซ้ำ บันทึกข้อมูลโดยการสังเกตวงใสยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ที่เกิดขึ้น

4.2 การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Broth Microdilution Method

4.2.1 การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย

นำเชื้อแบคทีเรีย 4 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Propionibacterium acnes* มาบ่มในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่อุณหภูมิ 37 ºC โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ส่วนเชื้อ *Propionibacterium acnes* บ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมเชื้อทดสอบให้มีจำนวนเริ่มต้นประมาณ 10^8 CFU/mL โดยเทียบด้วย McFarland Standards NO. 0.5 และนำมาเจือจางกับ ให้ได้ความเข้มข้น 5×10^5 CFU/mL

4.2.2 การเตรียมสารสกัด

เตรียมสารสกัดโดยให้ละลายในตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวสกัด จากนั้นนำไป sonicate โดยใช้ water bath sonication เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำสารสกัดที่ได้ไปกรองด้วยหัวกรองขนาด 0.45 µm จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ 100, 50, 25, 12.5, 6.25 และ 3.125 mg/mL ตามลำดับ

4.2.3 การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี broth microdilution method

ทำการทดสอบโดยใช้ 96-well microplate เพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Minimum Inhibitory Concentrations (MIC)) ด้วยวิธี broth microdilution method โดยดัดแปลงจากวิธีของ Nand และคณะ (2012) โดยในแต่ละหลุมจะมีปริมาตรรวม 100 µL ประกอบด้วย อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ปริมาณ 85 µL สารสกัดในแต่ละความเข้มข้น ปริมาณ 10 µL และเชื้อแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นที่ 5×10^5 CFU/mL ปริมาณ 5 µL ลงใน well plates ผสมให้เข้ากัน โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB เป็น negative control และ ใช้ ethanol เป็น blank control จากนั้นนำไปอ่านค่าความดูดกลืน (absorbance) ด้วยเครื่อง microplate reader (650 นาโนเมตร) ที่ชั่วโมงที่ 0 และนำไปบ่ม ที่อุณหภูมิ 37 ºC โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ส่วนเชื้อ *Propionibacterium acnes* บ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วทำการอ่านผลค่า MIC โดยบันทึกความเข้มข้นในสารสกัดที่ต่ำที่สุดที่ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อโดยสังเกตสารละลายในหลุม ซึ่งจะใสไม่ขุ่น และยืนยันผลอีกครั้งด้วยการวัดค่าความดูดกลืน (absorbance) ด้วยเครื่อง microplate reader (650 นาโนเมตร) อีกครั้งเพื่อวัดการเจริญเติบโตของเชื้อ นำค่าที่ได้มาคำนวณ ร้อยละการเจริญเติบโตของเชื้อโดยใช้สูตรการคำนวณ

$$\%\ \text{Growth} = \left[\frac{\text{ค่าความดูดกลืน (absorbance) ก่อน} - \text{ค่าความดูดกลืน (absorbance) หลัง}}{\text{ค่าความดูดกลืน (absorbance) ก่อน}}\right] \times 100$$

4.2.4 การศึกษาฤทธิ์การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

นำอาหารเหลวที่ได้จากการทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Minimum Inhibitory Concentrations (MIC)) จาก well ที่ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อ ปริมาตร 100 µL มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง TSA จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 ºC โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ส่วนเชื้อ *Propionibacterium acnes* บ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เชื้อที่ไม่มีการเจริญเติบโตบนอาหารแข็ง ถือว่าความเข้มข้นนั้นเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Minimum Bactericidal Concentration (MBC)) ได้

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาประมวลผล โดยหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการสกัดและความเข้มข้นของสารสกัดที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS 15.0 ทดสอบความแตกต่างโดยใช้ Two-way ANOVA และ posthoc Duncan's multiple range test

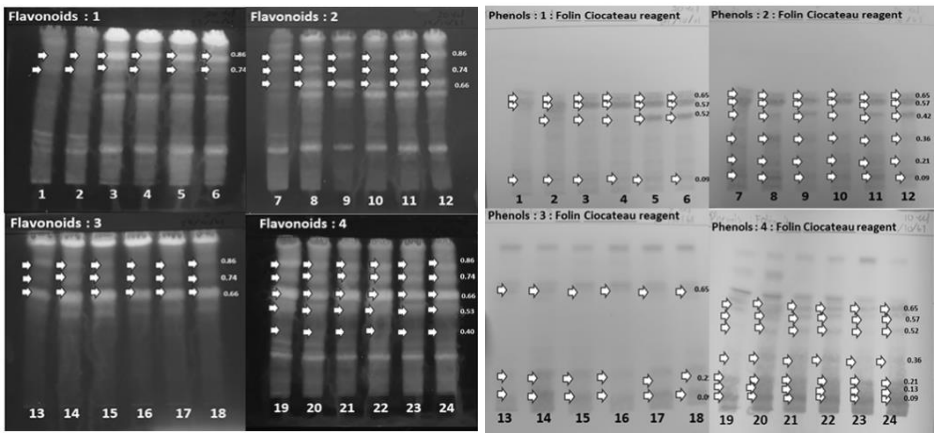
ผลการวิจัย

1. ผลการสกัดสารสำคัญจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง

สารสกัดสารส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Solvent extraction) และกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน นำมาเปรียบเทียบร้อยละของปริมาณสารสกัดหยาบที่ได้ (% Yield) พบว่า น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ให้ค่าร้อยละของปริมาณสารสกัดหยาบที่ได้สูงสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 15.25-15.69 และ absolute ethanol ให้ค่าร้อยละของปริมาณสารสกัดหยาบที่ได้ต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.63-2.65 โดยค่าดังกล่าวจะสม่ำเสมอในทุกวิธีการสกัด

2. ผลการวิเคราะห์กลุ่มสารทางพฤกษเคมีด้วยปฏิกิริยาเคมี

การตรวจสอบลักษณะทางพฤกษเคมีของสารกลุ่ม alkaloids ไม่พบการปรากฏของกลุ่มสาร alkaloids ในสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง แต่พบการปรากฏของสารกลุ่ม flavonoids ภายใต้สภาวะแสง 366 นาโนเมตร ที่มีแถบเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน มีค่า R_f value เท่ากับ 0.66, 0.74, และ 0.86 (รูปที่ 1(ก)) และยังพบการปรากฏของสารกลุ่ม phenolic compounds ภายใต้สภาวะแสงปกติ ที่มีแถบเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน มีค่า R_f value เท่ากับ 0.09, 0.21, 0.36, 0.57 และ 0.65 (รูปที่ 1 (ข)) และพบการปรากฏของสารกลุ่ม tannins ภายใต้สภาวะแสงปกติ ที่มีแถบเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน มีค่า R_f value เท่ากับ 0.6, 0.46, และ 0.54 (รูปที่ 1 (ค)) ตามลำดับ



รูปที่ 1 TLC ที่พบสารกลุ่ม flavonoids (ก), phenolic compounds (ข) และ tannins (ค)

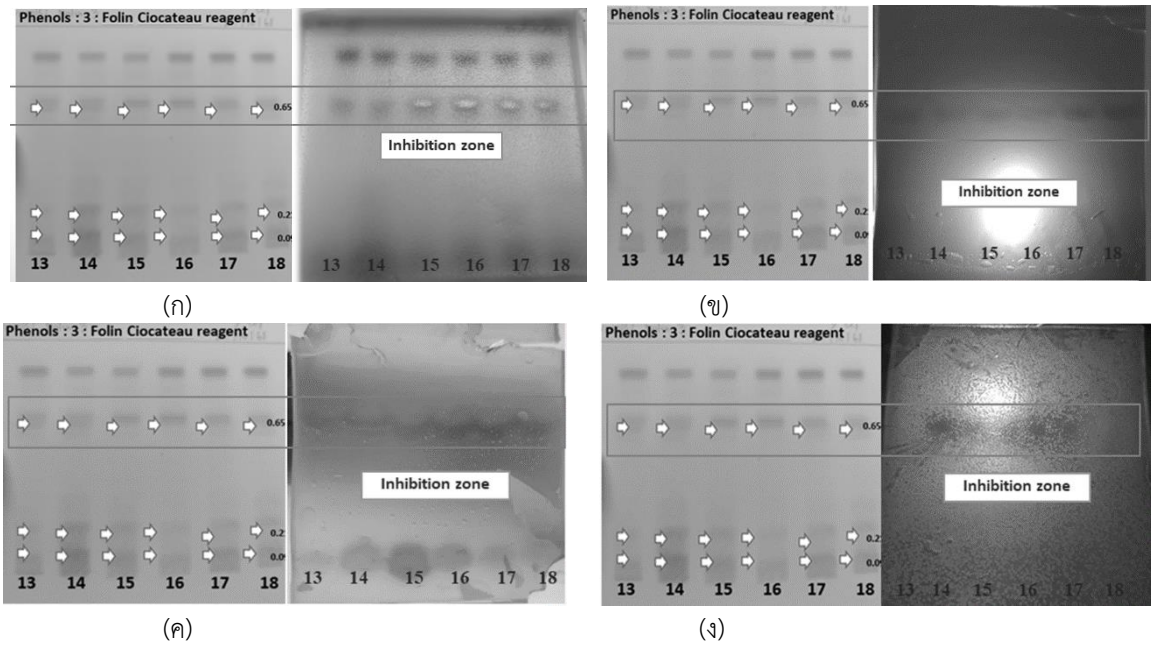
ในสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง โดย ลำดับเลขที่ปรากฏในรูปแสดงถึงชนิดของตัวสกัดและวิธีการสกัดดังนี้

No.	สารสกัด	No.	สารสกัด
1	น้ำร้อน 70 °C วิธีหมัก 24 ชั่วโมง	13	Absolute ethanol วิธีหมัก 24 ชั่วโมง
2	น้ำร้อน 70 °C วิธีเขย่า 3 ชั่วโมง หมักจนครบ 24 ชั่วโมง	14	Absolute ethanol วิธีเขย่า 3 ชั่วโมง หมักจนครบ 24 ชั่วโมง
3	น้ำร้อน 70 °C ใช้ probe sonication 2 นาที	15	Absolute ethanol ใช้ Probe sonication 2 นาที
4	น้ำร้อน 70 °C ใช้ probe sonication 5 นาที	16	Absolute ethanol ใช้ Probe sonication นาที
5	น้ำร้อน 70 °C ใช้ Water bath sonication 30 นาที	17	Absolute ethanol ใช้ bath sonication 30 นาที
6	น้ำร้อน 70 °C ใช้ Water bath sonication 1 ชั่วโมง	18	Absolute ethanol ใช้ Water bath sonication 1 ชั่วโมง
7	น้ำต้มเดือด วิธีหมัก 24 ชั่วโมง	19	Ethanol 70% วิธีหมัก 24 ชั่วโมง
8	น้ำต้มเดือด วิธีเขย่า 3 ชั่วโมง หมักต่อจนครบ 24 ชั่วโมง	20	Ethanol 70% วิธีเขย่า 3 ชั่วโมง หมักต่อจนครบ 24 ชั่วโมง
9	น้ำต้มเดือด ใช้ Probe sonication 2 นาที	21	Ethanol 70% ใช้ Probe sonication 2 นาที
10	น้ำต้มเดือด ใช้ Probe sonication 5 นาที	22	Ethanol 70% ใช้ Probe sonication 5 นาที
11	น้ำต้มเดือด ใช้ Water bath sonication 30 นาที	23	Ethanol 70% ใช้ bath sonication 30 นาที
12	น้ำต้มเดือด ใช้ Water bath sonication 1 ชั่วโมง	24	Ethanol 70% ใช้ bath sonication 1 ชั่วโมง

3. ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์

3.1 ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Bioautography

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์กลุ่มสารด้วยปฏิกิริยาเคมี พบว่า กลุ่มสารที่ปรากฏในสารสกัดจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองที่ชัดเจนมากที่สุดคือ สารกลุ่ม flavonoids และ phenolic compounds จึงนำมาทำสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Bioautography ในเชื้อแบคทีเรีย 4 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (รูปที่ 2 (ก)), *Staphylococcus epidermidis* (รูปที่ 2 (ข)), *Pseudomonas aeruginosa* (รูปที่ 2 (ค)) และ *Propionibacterium acnes* (รูปที่ 2 (ง)) พบว่า สารสกัดจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองที่แยกกลุ่มสาร Phenolic compounds ที่มีค่า R_f value เท่ากับ 0.65 จากตัวทำละลาย absolute ethanol สกัดด้วยวิธี Probe sonication และ Water bath sonication มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยปรากฏเป็นวงใสขึ้นตามแถบสารที่แสดงในรูปที่ 2 จึงนำสารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายและวิธีสกัดดังกล่าวไปทำการทดสอบต่อ เพื่อหาค่า MIC และ MBC ต่อไป



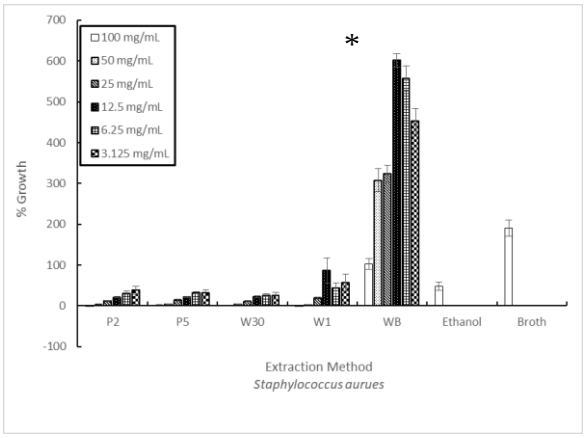
รูปที่ 2 ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Bioautography แสดงวงใสยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ต่อเชื้อ *Staphylococcus aurues* (ก), *Staphylococcus epidermidis* (ข), *Pseudomonas aeruginosa* (ค) และ *Propionibacterium acnes* (ง) ที่ค่า R_f value 0.65 ของสารสกัดที่ได้จากตัวทำละลาย absolute ethanol

3.2 ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Broth Microdilution Method

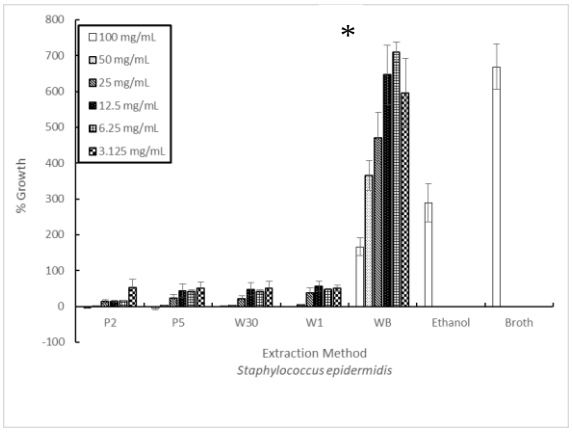
จากผลการศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Bioautography พบว่า สารสกัดจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองที่สกัดด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol จากวิธีการสกัด 4 สภาวะ คือ Probe sonication ที่เวลา 2 นาที และ 5 นาที Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีที่สุด จึงนำมาทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (MIC) และ หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) ด้วยวิธี broth microdilution method โดยมีอาหารเลี้ยงเชื้อเป็น sterility control สารสกัดจากน้ำต้มเดือด เป็น Positive control และ ethanol เป็น growth control

ผลการศึกษาหาค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดจากสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง ด้วยวิธีการสกัดจาก absolute ethanol ทั้ง 4 สภาวะ คือ Probe sonication ที่เวลา 2 นาที และ 5 นาที Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง และน้ำต้มเดือด ในความเข้มข้นที่ 100, 50, 25, 12.5, 6.25, และ 3.125 mg/mL พบว่า ที่ความเข้มข้นที่ 100 และ 50 mg/mL ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol โดยใช้วิธี Probe sonication ที่เวลา 2 นาที และ 5 นาทีและ Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* (รูปที่ 3 (ก)), *Staphylococcus epidermidis* (รูปที่ 3 (ข)), *Pseudomonas aeruginosa* (รูปที่ 3 (ค)) และ *Propionibacterium acnes* (รูปที่ 3 (ง)) เมื่อทำการเปรียบเทียบด้วยสถิติ Two-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการสกัดด้วยวิธี Probe sonication และ Water bath sonication อีกทั้งความเข้มข้นของสารสกัดที่ได้จากวิธีสกัดทั้ง 2 วิธี ให้ผลการยับยั้งเชื้อได้ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลการยั้งยั้งเชื้อของสารสกัด จาก absolute ethanol ทั้ง 4 สภาวะ คือ Probe sonication ที่เวลา 2 นาที และ 5 นาที Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง กับ อาหารเลี้ยงเชื้อ สารสกัดจากน้ำต้มเดือด และ ethanol ด้วย posthoc Duncan's multiple range test พบว่า สารสกัดด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol โดยใช้วิธี Probe sonication ที่เวลา 2 นาที และ 5 นาทีและ Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เมื่อเทียบกับ สารสกัดจากน้ำต้มเดือด ($p<0.05$, Two-way ANOVA) ดังแสดงในรูปที่ 3

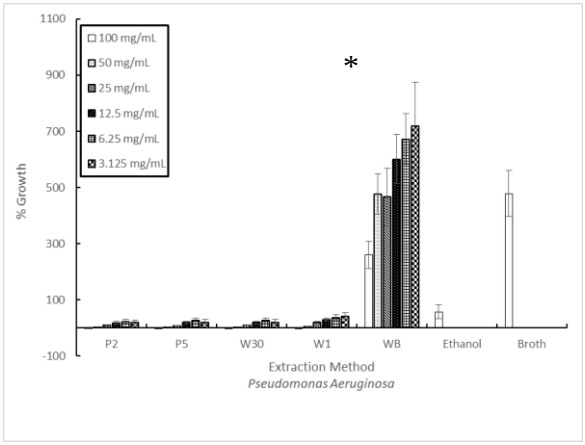
ผลการศึกษาฤทธิ์การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยการนำอาหารเหลวที่ได้จากการทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Minimum inhibitory concentrations (MIC)) จาก well ที่ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อ ปริมาณ 100 µL มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง TSA พบว่า สารสกัดที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ 100 mg/mL ไม่มีผลในการฆ่าเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ในขณะที่เชื้อ *Propionibacterium acnes* ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์



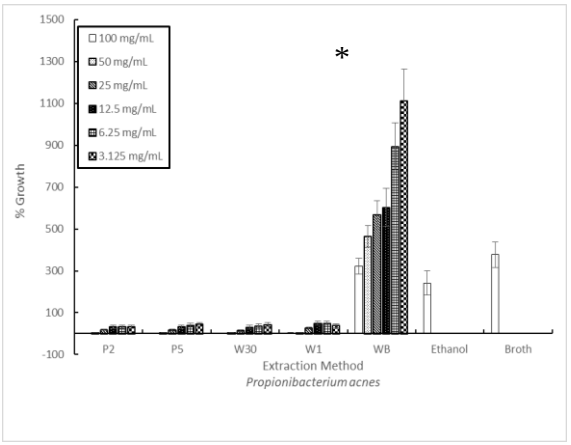
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3 ผลในการยับยั้งเชื้อจากสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรือง วิธี Broth Microdilution Method ด้วยวิธีการสกัดจาก absolute ethanol ด้วยวิธี Probe sonication ที่เวลา 2 นาที (P2) และ 5 นาที (P5), Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที (W30) และ 1 ชั่วโมง (W1) และน้ำต้มเดือด (WB) เมื่อ * หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$, Two-way ANOVA)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการสกัดสารสำคัญจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Solvent extraction) และกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่า สารสกัดจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองด้วยตัวทำละลายน้ำ ให้ร้อยละของปริมาณสารสกัดที่ได้ (% Yield) มากกว่าตัวทำละลาย ethanol โดยพบว่า ร้อยละของปริมาณสารสกัดที่ได้มากที่สุดคือ สารสกัดที่สกัดในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 ºC ด้วยวิธี Water bath sonication 1 ชั่วโมง ส่วนร้อยละของปริมาณสารสกัดที่ได้ (% Yield) น้อยที่สุดคือสารสกัดที่สกัดใน absolute ethanol ด้วยวิธี Probe sonication 2 นาที ในส่วนของการตรวจสอบลักษณะทางพฤกษเคมีของสารสกัด พบสารในกลุ่ม flavonoids, phenolic compounds และ tannins โดยกลุ่มสารที่แสดงออดชัดเจนที่สุดคือ สารกลุ่ม flavonoids และ phenolic compounds ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ XU Li-wei และคณะ (2012) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดาวเรืองในสายพันธุ์ต่าง ๆ และพบสารในกลุ่มของ flavonoids, phenolic compounds, phenylpropanoids, thiophene, benzofunan, terpenoids, alkaloids และ carotenoids

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Propionibacterium acnes* โดยวิธี Bioautography และวิธี Broth Microdilution Method ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยพบว่า สารที่สกัดด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ได้ดีที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาพ ลักษณะโครมาโตแกรมชนิดผิวบาง (Thin layer chromatography) ของตัวอย่างที่สกัดจากส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol ที่แยกกลุ่มสารโดยวัฏภาคเคลื่อนที่ Phenolic compounds พบว่า เป็นสารสกัดกลุ่ม Phenolic compounds ที่ออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Farjana และคณะ (2014) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพของสารสกัดจากใบพืชสมุนไพร 4 ชนิด คือ ใบฝรั่ง ใบชาเขียว ใบสะเดา และใบดาวเรือง ต่อเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella spp.* ผลการศึกษา พบว่า สารสกัดในชั้น methanol ของใบดาวเรือง มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่อ *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella spp.* แต่ไม่พบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์จากการสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำและน้ำมัน

นอกจากนั้น นำผลการสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol ทำการเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัด และความเข้มข้นของสารสกัดต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ ด้วยสถิติ Two-way ANOVA ตามด้วย Duncan's posthoc test เปรียบเทียบระหว่างวิธีการสกัดที่ต่างกัน 5 วิธี ได้แก่ Probe sonication 2 นาที และ 5 นาที Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง และน้ำต้มเดือด พบว่า ทั้งวิธีการสกัดและความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ส่งผลต่อการยับยั้งเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า วิธีการ Probe sonication 2 นาที และ 5 นาที Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง ให้ผลในการสกัดสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อได้ดีกว่าการสกัดด้วยน้ำต้มเดือดอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อการยับยั้งเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งพบว่า การสกัดสารสำคัญของส่วน

เหนือดินของต้นดาวเรืองด้วยตัวทำละลาย absolute ethanol สามารถสกัดสารที่ให้ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อได้ไม่ว่าจะเป็นการสกัดด้วย Probe sonication 2 นาที และ 5 นาที Water bath sonication ที่เวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง

จากการวิจัยในครั้งนี้ สรุปได้ว่า สารสำคัญที่พบในสารสกัดส่วนเหนือดินของต้นดาวเรืองคือ สารกลุ่ม flavonoids และ phenolic compounds โดยสารสกัดที่ใช้ตัวทำละลายที่เป็น absolute ethanol มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas Aeruginosa* และ *Propionibacterium acnes* ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ใช้สำหรับรักษาสิว และดูแลผิวหน้า ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับงบสนับสนุนการวิจัย แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ตามทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรมประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2562 และขอขอบคุณคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนในส่วนของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล. (2560). ดาวเรืองฝรั่งเศส. [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก http://www.pharmacy.mahidol.ac.th: http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/414/ดาวเรือง

MedThai. (2017). ดาวเรือง. [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก https://medthai.com : https://medthai.com/%E0%B8%94%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%87/

Das, B. and Mishra, P. (2011). Antibacterial analysis of crude extracts from the leaves of Tagetes erecta and Cannabis sativa. International journal of environmental sciences. (2(3)), 1605-1608.

Farjana, A., Zerin, N., & Kabir, M. S. (2014). Antimicrobial activity of medicinal plant leaf extracts against pathogenic bacteria. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 4, S920-S923.

Lertsatitthanakorn, P., Taweechaisupapong, S., Aromdee, C., & Khunkitti, W. (2006). In vitro bioactivities of essential oils used for acne control. International Journal of Aromatherapy, 16(1), 43-49.

Nand, P., Drabu, S., & Gupta, R. K. (2012). Phytochemical and antimicrobial screening of medicinal plants for the treatment of acne.

Rashtak, S., Gamble, G. L., Gibson, L. E., & Pittelkow, M. R. (2012). From furuncle to axillary web syndrome: shedding light on histopathology and pathogenesis. Dermatology, 224(2), 110-114.

XU, L. W., Juan, C. H. E. N., QI, H. Y., & SHI, Y. P. (2012). Phytochemicals and their biological activities of plants in Tagetes L. Chinese Herbal Medicines, 4(2), 103-117.

พฤติกรรมการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ

เตชภณ ทองเติม[1*] ขนิษฐา ฉิมพาลี[1] เมธาวุฒิ พงษ์ธนู[1] จีรนันท์ แก้วมา[2] และ นิรุตติ์ สุขดี[3]
[1] สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
[2] วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[3] คณะศึกษาศาสตร์ สถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตอุดรธานี
[*]E-mail : jojoe_spsc_chula@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ ตัวอย่างเป็นพระภิกษุสูงวัย ที่มีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป ในพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 523 รูป ได้มาจากการสุ่มอย่างง่ายและสุ่มแบบบังเอิญ เครื่องมือวิจัยเป็นแบบสอบถามที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้น วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า พระภิกษุสูงวัยมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารอยู่ในระดับปานกลาง ($\overline{X}$ = 44.26 จากคะแนนเต็ม 60 คะแนน, S.D. = 4.89) เมื่อจำแนกตามคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร พบว่า พระภิกษุสูงวัย มีพฤติกรรมในระดับปานกลางมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 69.60 รองลงมามีพฤติกรรมในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 23.90 และมีพฤติกรรมอยู่ในระดับไม่ดี น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 6.50 ตามลำดับ จากผลการศึกษา ควรมีการส่งเสริมองค์ความรู้และการปฏิบัติในด้านการบริโภคสำหรับพระภิกษุสงฆ์สูงวัยที่ไม่ขัดกับหลักพระพุทธศาสนา

คำสำคัญ : การบริโภคอาหาร ผู้สูงวัย พระภิกษุ

The Behavior on Food Consumption of the Elderly Buddhist Monks Living in Sisaket Province of Thailand

Tachapon Tongterm[1*] Khanittha Chimpalee[1] Methawut Pongtanu[1] Jeeranan Kaewma[2] and Nirut Sukdee[3]
[1]Department of Sports Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University
[2]College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University
[3] Faculty of Education, Institute of Physical Education Udonthani campus
*E-mail : jojoe_spsc_chula@hotmail.com

Abstract

This research was designed to study behavior on food consumption of the elderly monks in Sisaket province of Thailand. Data was collected form a sample of 523 elderly Buddhist monks who were 50 years old or more. The sample was selected by using simple random sampling and accidental sampling. The self-administered questionnaires were developed to gather the data. The data was then analyzed using percentage, means and standard deviation. The result found that the behavior on food consumption of the elderly monks in Sisaket province was moderately level ($\overline{X}$ = 44.26 form 60.00, S.D. = 4.89) consisted of moderately level (69.60%), high level (23.90%) and poor level (6.50%) respectively. The results indicate that knowledge and behavior complied to Buddhist principles should be provided to all the elder monks.

Keywords : Food Consumption, Elderly, Monk

บทนำ

พระภิกษุสงฆ์ นับว่าเป็นประชากรกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสถาบันพระพุทธศาสนาและมีความสำคัญอย่างยิ่งในการจรรโลงศาสนาและจิตใจของประชาชนชาวไทย การอยู่ในเพศบรรพชิตจำเป็นที่จะต้องปฏิบัติตามกฎของสงฆ์ที่แตกต่างจากบุคคลทั่วไป นั่นคือการฉันอาหารได้เพียงวันละ 2 มื้อ คือมื้อเช้าและเที่ยง (ฉันเพล) ถึงแม้ว่ามื้อเช้าจะเป็นอาหารหลักที่สำคัญที่สุด แต่ก็ไม่สามารถเพียงพอสำหรับความต้องการของร่างกายและสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายได้ ดังนั้น พระภิกษุสงฆ์เป็นกลุ่มประชากรที่มีแนวโน้มเกี่ยวกับการมีปัญหาและขาดการดูแลด้านสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการบริโภค จากการศึกษา

งานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัยพบว่า พฤติกรรมการบริโภคของพระภิกษุสงฆ์ส่วนใหญ่ฉันอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรทสูงและโปรตีนต่ำ นอกจากนี้พฤติกรรมการส่งเสริมสุขภาพของพระสงฆ์อยู่ในระดับต่ำ ได้แก่ การบริโภคอาหารที่ได้จากกการบิณฑบาต พระภิกษุสงฆ์ไม่สามารถเลือกซื้ออาหารทานเองได้ ต้องรับการอังคาสจากฆราวาส ซึ่งในปัจจุบันฆราวาสส่วนใหญ่นิยมซื้ออาหารสำเร็จรูปถวายแด่พระภิกษุสงฆ์ ส่งผลให้พระภิกษุสงฆ์เกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรค ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ เป็นต้น ซึ่งผลของการเกิดโรคเรื้อรังนั้นจะนำไปสู่ภาวะบกพร่องของร่างกาย (Impairment) ในด้านต่าง ๆ และผลของภาวะบกพร่องของร่างกายจะส่งผลต่อเนื่องให้เกิดภาวะทุพพลภาพ และผลขั้นสุดท้ายที่ตามมาจากภาวะทุพพลภาพ คือ ก่อให้เกิดภาวะด้อยโอกาส (Handicap) ซึ่งหมายถึง การสูญเสียโอกาสของผู้สูงวัยอันเนื่องมาจากภาวะบกพร่องหรือทุพพลภาพที่จำกัด หรือขวางกั้นไม่ให้สามารถดำรงบทบาทที่พึงจะเป็นปกติตามวัย เพศ สังคม และสิ่งแวดล้อมของตนได้ (สุทธิชัย จิตะพันธุ์กุล, 2537) ซึ่งถือเป็นปัญหาที่สำคัญมากของการครองสมณเพศของสงฆ์ เนื่องด้วยพระภิกษุสูงวัยไม่ได้อาศัยอยู่ในครอบครัวเดียวกันกับบุตรหลานนั้นเอง พระภิกษุสงฆ์สูงวัยเป็นช่วงวัยที่ควรได้รับการดูแลเป็นพิเศษในด้านการส่งเสริมสุขภาพเนื่องด้วยเมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุ ระบบต่าง ๆ ของร่างกายเกือบทุกระบบจะมีการเสื่อมลง เช่น ระบบย่อยอาหาร เป็นต้น

จังหวัดศรีสะเกษ ถือเป็นจังหวัดที่มีจำนวนวัดและพระภิกษุมากเป็นลำดับต้นๆ ของประเทศ โดยมีจำนวนวัด จำนวน 1,115 วัด (สังกัดมหานิกาย 1,040 วัด สังกัดธรรมยุต 75 วัด) แยกเป็นพัทธสีมา จำนวน 652 วัด (สังกัดมหานิกาย 613 วัด สังกัดธรรมยุต 39 วัด) สำนักสงฆ์ จำนวน 463 วัด (สังกัดมหานิกาย 427 วัด ธรรมยุต 36 วัด) และนอกจากนี้ยังมีที่พักสงฆ์ จำนวน 500 แห่ง (มหานิกาย 423 แห่ง ธรรมยุต 77 แห่ง) (สำนักงานพระพุทธศาสนาจังหวัดศรีสะเกษ, 2560) มีสำนักพระพุทธศาสนาจังหวัดศรีสะเกษที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยงานหลักในการทำนุบำรุงดูแลและส่งเสริมสนับสนุนกิจการพระพุทธศาสนาในจังหวัด รวมทั้งให้การอุปถัมภ์คุ้มครองพระพุทธศาสนาและสร้างสังคมให้นำหลักธรรมจริยธรรมมาปฏิบัติให้เกิดสันติสุขอย่างยั่งยืน ซึ่งนอกจากหน่วยงานดังกล่าวแล้วยังพบว่า ประชาชนในจังหวัดศรีสะเกษยังทำนุบำรุงพระพุทธศาสนาเป็นอย่างดีด้วย สังเกตได้จากงานบุญ งานประเพณีและงานด้านวัฒนธรรมต่าง ๆ ของจังหวัดที่มีการจัดเป็นประจำตลอดทุกปีและมีผู้เข้าร่วมงานอย่างมาก ซึ่งนอกจากจังหวัดศรีสะเกษจะมีจำนวนวัดที่มากแล้ว จากข้อมูลของสำนักงานพระพุทธศาสนา ในปี พ.ศ. 2550-2553 (สำนักงานพระพุทธศาสนา, 2560) ยังพบว่า จังหวัดศรีสะเกษ มีจำนวนพระภิกษุมากเป็นลำดับต้นๆ ของประเทศด้วย โดยมีจำนวนพระภิกษุ ในปี พ.ศ. 2550-2553 จำนวน 8,161 รูป, 8,161 รูป, 9162 รูป และ 9,948 รูป ตามลำดับ โดยในปี พ.ศ. 2550 - 2552 ถือได้ว่าจังหวัดศรีสะเกษมีจำนวนพระภิกษุมากเป็นลำดับที่ 3 ของประเทศ รองจาก กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา และในปี พ.ศ. 2553 จังหวัดศรีสะเกษมีจำนวนพระภิกษุมากเป็นลำดับที่ 4 ของประเทศรองจากกรุงเทพมหานคร จังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดสุพรรณบุรี ตามลำดับ โดยในปี พ.ศ. 2559 มีพระสงฆ์ จำนวน 11,213 ซึ่งข้อมูลปัจจุบันตัวเลขทางสถิติก็ไม่ต่างจากสถิติข้างต้นนัก ซึ่งจากข้อมูลทางสถิติที่กล่าวมานั้นเป็นเพียงตัวเลขที่แสดงว่า จังหวัดศรีสะเกษ ถือเป็นดินแดนพระพุทธศาสนาโดยแท้ กล่าวคือ มีจำนวนวัด พระภิกษุและประชาชนที่เลื่อมใสในพระพุทธศาสนาจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาของผู้วิจัย ยังพบว่า หน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการส่งเสริมสุขภาพในระดับประเทศและระดับจังหวัด ยังขาดความสนใจในด้านการส่งเสริมสุขภาพของพระภิกษุสูงวัย ตลอดถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับกับงานด้านส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มพระภิกษุสูงวัยก็ยังมีน้อยมากด้วย โดยเฉพาะในบริบทของจังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาของ เตชภณ ทองเติม (2557) พบว่า จังหวัดศรีสะเกษ มีจำนวนพระภิกษุสูงวัยที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยมีบุคคลทั่วไปที่เข้ามาบวชตอนสูงวัยแล้วมากขึ้นกว่าในอดีต (จำนวนพรรษา ไม่ถึง 10 ปี สูงถึงร้อยละ 27.70) ทั้งนี้มีสาเหตุทั้งเพื่อลดภาระครอบครัว ขาดผู้ดูแลในช่วงสูงวัย และสาเหตุอื่น ๆ สำหรับประเด็นทางสุขภาพ ยังพบว่าพระภิกษุสูงวัยมีปัญหาสุขภาพ/ความพิการ สูงถึงร้อยละ 55.41 มีทั้งมีปัญหาก่อนบวชและหลังบวช ซึ่งปัจจุบันจำนวนผู้สูงวัยเพิ่มมากขึ้น ปัญหาขาดผู้ดูแลผู้สูงวัยเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ถ้าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่ช่วยกันกำกับดูแล วัดอาจจะกลายเป็นบ้านพักคนชราชาย แห่งใหม่ในอนาคตก็จะเป็นได้

สรุปได้ว่าปัญหาสุขภาพในกลุ่มพระภิกษุสูงวัยมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการบริโภค เนื่องจากพระภิกษุสงฆ์ไม่สามารถเลือกซื้ออาหารทานเองได้ ต้องรับการอังคาสจากฆราวาส ซึ่งในปัจจุบันฆราวาสส่วนใหญ่นิยมซื้ออาหารสำเร็จรูปถวายแด่พระภิกษุสงฆ์อีกด้วย เนื่องจากมีความสะดวก ส่งผลให้พระภิกษุสงฆ์เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases: NCDs) ที่เกิดจากข้อจำกัดด้านกิจกรรมทางกายและปัญหาด้านการบริโภคอาหาร ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการส่งเสริมสุขภาพพระภิกษุสูงวัยในเชิงพื้นที่ต่อไป และนอกจากนี้การศึกษาครั้งนี้ยังถือเป็นพุทธบูชาเพื่อเป็นการทำนุบำรุงพระพุทธศาสนาให้สืบทอดต่อไปคู่กับคนไทยอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาระดับพฤติกรรมการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ

วิธีการวิจัย

บทความวิจัยนี้ เป็นส่วนหนึ่งของรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง “ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ” โดยบทความวิจัยส่วนนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง (Cross sectional descriptive study) ซึ่งผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จาก คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ เลขที่โครงการวิจัย 009/2562 โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

ประชากร (Population)

ประชากร คือ บุคคลเพศชายที่เป็นนักบวชในพระพุทธศาสนา ที่มีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป และจำวัดอยู่พัทธสีมา สำนักสงฆ์ หรือที่พักสงฆ์ ในจังหวัดศรีสะเกษ ในปี พ.ศ. 2561

ตัวอย่าง (Sample)

ตัวอย่าง คือ พระภิกษุ ที่มีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป ทั้งธรรมยุตนิกายและมหานิกาย โดยคณะผู้วิจัยได้คำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และระดับความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 จากสูตรของ Cochran (1953) ดังนี้

สูตรของคำนวณหาขนาดตัวอย่าง กรณีไม่ทราบจำนวนประชากร จากสูตร Cochran

$$n = \frac{P\,(1-P)\,Z^2}{e^2}$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

P = ค่าสัดส่วนของประชากร
โดย ค่า P(1-P) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อสัดส่วนประชากร = 50%
หรือ P = 0.5

e = ร้อยละความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มตัวอย่าง

Z = ระดับความเชื่อมั่น ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95%
ค่า Z = 1.96

แทนค่า

$$n = \frac{0.5 \times 0.5 \times (1.96)^2}{0.05^2}$$

$$n = \frac{0.9604}{0.0025}$$

$$n = 384.16$$

ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่น้อยที่สุด คือ 385 รูป

จากการคำนวณกลุ่มตัวอย่างตามสูตรของ Cochran จะได้กลุ่มตัวอย่างพระภิกษุสูงวัย น้อยที่สุดประมาณ 385 รูป ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือก (Sampling) ตัวอย่างพระภิกษุสูงวัยเพื่อเข้าร่วมโครงการวิจัย ดังนี้

1. ทำการสุ่มอำเภอในจังหวัดศรีสะเกษ โดยผู้วิจัยกำหนดแบบแผนการสุ่มระดับอำเภอไว้ดังนี้ คือ สุ่ม 50% ของจำนวนอำเภอทั้งหมดในจังหวัดศรีสะเกษ ดังนั้นในจังหวัดศรีสะเกษมีจำนวนอำเภอทั้งหมด 22 อำเภอ ผู้วิจัยจะทำการคัดเลือกสุ่มจำนวนอำเภอมา 11 อำเภอ โดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) จะได้จำนวนอำเภอ ทั้งหมด 11 อำเภอ ได้อำเภอเมืองศรีสะเกษ อำเภอศรีรัตนะ อำเภออุทุมพรพิสัย อำเภอไพรบึง อำเภอกันทรารมย์ อำเภอราษีไศล อำเภอห้วยทับทัน อำเภอปรางค์กู่ อำเภอขุนหาญ อำเภอขุขันธ์ และอำเภอศิลาลาด

2. ทำการเทียบอัตราส่วน จำนวนอำเภอ (11 อำเภอ) กับ จำนวนขนาดตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณ (385 รูป) จะได้จำนวนตัวอย่างที่ควรเก็บข้อมูลในแต่ละอำเภอ อำเภอละประมาณ 35 ตัวอย่าง รวมตัวอย่าง เท่ากับ 385 ตัวอย่าง

3. ทำการคัดเลือกตัวอย่างในแต่ละอำเภอโดยใช้วิธีการ สุ่มแบบบังเอิญ (Accidental sampling) จำนวนอำเภอละ 35 ตัวอย่าง (พระภิกษุสูงวัยในแต่ละอำเภอที่ได้รับการสุ่มข้างต้นทุกรูป ถือเป็นตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้น) โดยผู้วิจัยมีเกณฑ์คัดเข้าและเกณฑ์คัดออก ดังนี้

เกณฑ์ในการเลือกตัวอย่างเข้ามาศึกษา (Inclusion Criteria)

- เป็นบุคคลเพศชายที่เป็นนักบวชในพระพุทธศาสนา มีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป และจำวัดอยู่ในพัทธสีมา สำนักสงฆ์ หรือที่พักสงฆ์ ในจังหวัดศรีสะเกษ ในปี พ.ศ. 2561
- ตัวอย่างเข้าใจภาษาไทยเป็นอย่างดี
- ตัวอย่างยินดีเข้าร่วมโครงการวิจัย

เกณฑ์ในการคัดตัวอย่างออกจากการศึกษา (Exclusion Criteria)

- ตัวอย่างไม่ยินดีเข้าร่วมโครงการวิจัย
- ตัวอย่างอยู่ในสภาพต่อไปนี้ คือ หมดสติ หรือ เกือบหมดสติ พูดไม่ได้ พูดไม่รู้เรื่อง วุ่นวาย สับสน ใส่ท่อหายใจ หรือใส่หลอดคอ จนไม่สามารถตอบแบบสอบถามได้
- ตัวอย่างให้ข้อมูล แต่ไม่ประสงค์เปิดเผยข้อมูล

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลภาคสนามจริง คณะผู้วิจัยได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ จำนวน 523 ข้อมูล ดังนั้นตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ จึงมีจำนวน 523 ตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (Instrument)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) ซึ่งคณะผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการศึกษา ทบทวนทฤษฎี แนวความคิด และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (เตชภณ ทองเติม, 2557; ปิติณัช ราชภักดี ภาวิณี ศรีสันต์, 2561; พระกิตติญาณเมธี และคณะ, 2561) โดยแบ่งเนื้อหาในแบบสอบถามออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง จำนวนพรรษา สถานะภาพทางสงฆ์ สังกัด ประเภทวัด ที่ตั้งของวัด สถานภาพสมรสก่อนบวช ระดับการศึกษาสูงสุดแผนกสามัญ (การศึกษาทางโลก) ระดับการศึกษาปริยัติแผนกธรรม (การศึกษาทางสงฆ์) ความสามารถในการอ่านหนังสือ ความสามารถในการเขียนหนังสือ การตรวจสุขภาพ การฉันอาหาร กิจของสงฆ์ และประวัติการล้มในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา

ส่วนที่ 2 ภาวะทุพพลภาพระยะยาว ประกอบด้วย มีโรค หรือ ปัญหาสุขภาพ ที่เป็นเรื้อรัง มานานเกินกว่า 6 เดือน และการใช้กายอุปกรณ์เสริม/อุปกรณ์เทียม

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามพฤติกรรมการปฏิบัติเกี่ยวกับการบริโภคอาหารที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีข้อคำถามที่รวบรวมเนื้อหาจากตำราและเอกสารที่เกี่ยวกับการปฏิบัติตนหรือการกระทำเกี่ยวกับการบริโภคอาหารของพระภิกษุ จำนวน 15 ข้อ ซึ่งประกอบด้วยคำถามที่มีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามแนวคิดของ Likert สำหรับให้เลือกตอบเพียงคำตอบเดียวในช่องที่ตรงกับพฤติกรรมของผู้ตอบมากที่สุด โดยมีคำถามพฤติกรรมด้านบวก 5 ข้อ ด้านลบ 10 ข้อ คำตอบแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ ปฏิบัติเป็นประจำ ปฏิบัติบ่อยครั้ง ปฏิบัตินาน ๆ ครั้ง และไม่เคยปฏิบัติ

การตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของแบบสอบถาม

แบบสอบถามใน รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง “ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ” ทั้งฉบับ คณะผู้วิจัยได้หาความตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถาม (Content validity) โดยการนำแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 7 ท่าน ตรวจสอบรายละเอียดของข้อคำถาม และพิจารณาเนื้อหาว่ามีความถูกต้องเหมาะสมหรือไม่ แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข โดยได้ผลค่าดัชนีความสอดคล้อง เท่ากับ 0.72 จากนั้นนำแบบสอบถามไปทดลองใช้ในกลุ่มตัวอย่างพระภิกษุสูงวัย ในเขตอำเภอศรีณรงค์ จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 30 รูป แล้วนำมาวิเคราะห์หาความเชื่อมั่นโดยการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของครอนบาค (Cronbach’s reliability coefficient alpha) ใช้การหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha coefficient) ตามวิธีการของครอนบัค (Cronbach, 1990: 204) ได้ค่าได้ค่าสัมประสิทธิ์อัลฟ่า เท่ากับ 0.76

การเก็บรวบรวมข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากการเตรียมแบบสอบถาม อบรมผู้ช่วยเก็บข้อมูล ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามวัน/เวลาที่กำหนด ลงรหัสข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล โดยตลอดการจัดเก็บข้อมูลคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการด้วยคณะผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยเองทุกขั้นตอน ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

1. ขอความร่วมมือกับเจ้าคณะอำเภอที่ได้รับการสุ่มให้เป็นพื้นที่เป้าหมายเพื่อขอข้อมูลพื้นฐาน และเพื่อช่วยประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยในครั้งนี้

2. คณะผู้วิจัยประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

3. คณะผู้วิจัยร่วมกับผู้ช่วยวิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนาม ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2561 ถึง 31 พฤษภาคม 2561 ภายหลังเสร็จสิ้นการเก็บข้อมูลในแต่ละวัน จะตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูล ถ้าพบว่ามีข้อมูลไม่สมบูรณ์จะทำการเก็บข้อมูลซ้ำในพื้นที่เดิมจนได้ข้อมูลครบถ้วน

4. นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

คณะผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนี้

1. ข้อมูลปัจจัยทางประชากรศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ร้อยละ (Percentage)

2. ข้อมูลด้านพฤติกรรมการบริโภค วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และคะแนนระดับพฤติกรรมด้านการบริโภคอาหาร คณะผู้วิจัยได้กำหนดการแปลความหมายคะแนนระดับพฤติกรรมด้านการบริโภคอาหาร ระดับรายข้อ โดยมีคำถามด้านบวก 5 ข้อ และด้านลบ 10 ข้อ คำตอบแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

ปฏิบัติเป็นประจำ หมายถึง ผู้ตอบปฏิบัติเกี่ยวกับการบริโภคอาหารตามข้อความนั้น 6-7 วันต่อสัปดาห์ กรณีคำถามด้านบวก ให้ 4 คะแนน กรณีคำถามด้านลบ ให้ 1 คะแนน

ปฏิบัติบ่อยครั้ง หมายถึง ผู้ตอบปฏิบัติเกี่ยวกับการบริโภคอาหารตามข้อความนั้น 3-5 วันต่อสัปดาห์ กรณีคำถามด้านบวก ให้ 3 คะแนน กรณีคำถามด้านลบ ให้ 2 คะแนน

ปฏิบัตินาน ๆ ครั้ง หมายถึง ผู้ตอบปฏิบัติเกี่ยวกับการบริโภคอาหารตามข้อความนั้น 1-2 วันต่อสัปดาห์ กรณีคำถามด้านบวก ให้ 2 คะแนน กรณีคำถามด้านลบ ให้ 3 คะแนน

ไม่เคยปฏิบัติ หมายถึง ผู้ตอบไม่เคยปฏิบัติกิจกรรมเกี่ยวกับการบริโภคอาหารตามข้อความนั้นเลย กรณีคำถามด้านบวก ให้ 1 คะแนน กรณีคำถามด้านลบ ให้ 4 คะแนน

คณะผู้วิจัยได้แบ่งระดับช่วงคะแนนแบบอิงเกณฑ์ ตาม ศิริพร พรพุทธษา (2542) โดยพิจารณาคะแนนเป็น 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดง ระดับคะแนนการประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหาร

คะแนนคิดเป็นร้อยละ	ระดับพฤติกรรม	ค่าคะแนน
ร้อยละ 80 ขึ้นไป	มีพฤติกรรมเกี่ยวกับการบริโภคอาหารดี	48 คะแนนขึ้นไป
ร้อยละ 61-79	มีพฤติกรรมเกี่ยวกับการบริโภคอาหารปานกลาง	37-47 คะแนน
ร้อยละ 60 หรือต่ำกว่า	มีพฤติกรรมเกี่ยวกับการบริโภคอาหารไม่ดี	ต่ำกว่า 36 คะแนน

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนำเสนอเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างพระภิกษุสูงวัย และ 2) พฤติกรรมการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ ดังต่อไปนี้

1. จากผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างด้าน อายุ ดัชนีมวลกาย จำนวนพรรษา สถานภาพทางสงฆ์ ระดับการศึกษาสูงสุด (การศึกษาทางโลก) ความสามารถในการอ่านหนังสือ ความสามารถในการเขียนหนังสือ การตรวจสุขภาพ การปฏิบัติกิจของสงฆ์ การฉันอาหาร การฉันน้ำปานะ และโรคหรือปัญหาสุขภาพที่เป็นเรื้อรังมานานกว่า 6 เดือน ได้ข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดง จำนวน และร้อยละของข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างพระภิกษุสูงวัย จำแนกตามลักษณะทั่วไป (n = 523 รูป)

ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่าง	จำนวน	ร้อยละ
อายุ (ปี) ($\overline{X}$ = 69.63, S.D. = 7.11, Max = 96, Min = 60)		
- 50-59 ปี	240	45.9
- 60-69 ปี	154	29.4
- 70-79 ปี	96	18.4
- 80-89 ปี	28	5.4
- 90-99 ปี	5	1.0
ดัชนีมวลกาย ($\overline{X}$ = 22.43, S.D. = 3.760, Max = 39.44, Min = 12.12)		
- น้อยกว่า 18.5 (ต่ำกว่าเกณฑ์)	69	13.19
- 18.5-23.4 (อยู่ในเกณฑ์ปกติ)	278	53.16
- 23.5-28.4 (น้ำหนักเกินเกณฑ์)	144	27.53
- 28.5-34.9 (อ้วนขั้นที่ 1)	29	5.55
- 35.0-39.9 (อ้วนขั้นที่ 2)	3	0.57
จำนวนพรรษา		
- น้อยกว่า 1 พรรษา	13	2.5
- 1-4 พรรษา	110	21.0
- 5-9 พรรษา	109	20.8
- 10-14 พรรษา	78	14.9
- 15-19 พรรษา	58	11.1
- ตั้งแต่ 20 พรรษาขึ้นไป	155	29.6
สถานภาพทางสงฆ์		
- เจ้าอาวาสวัด	172	32.9
- พระลูกวัด	318	60.8
- ตำแหน่งอื่น ๆ	33	6.3
ระดับการศึกษาสูงสุด (การศึกษาทางโลก)		
- ต่ำกว่าประถมศึกษาตอนต้น (ป.4)	175	33.5
- ประถมศึกษาตอนต้น	67	12.8
- ประถมศึกษาตอนปลาย	83	15.9
- มัธยมศึกษาตอนต้น	49	9.4
- มัธยมศึกษาตอนปลาย	44	8.4
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	3	0.6
- อนุปริญญา ปวส.	7	1.3
- ปริญญาตรี	57	10.9
- ปริญญาโท	22	4.2
- อื่น ๆ	16	3.0
ความสามารถในการอ่านหนังสือ		
- อ่านได้สบาย /คล่อง	428	81.8
- อ่านได้ค่อนข้างลำบาก	85	16.3
- อ่านไม่ออก	10	1.9
ความสามารถในการเขียนหนังสือ		
- เขียนได้สบาย/คล่อง	403	77.1
- เขียนได้ค่อนข้างลำบาก	109	20.8
- เขียนไม่ได้	11	2.1

ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่าง	จำนวน	ร้อยละ
การตรวจสุขภาพ		
- ไม่เคยตรวจสุขภาพ	92	17.6
- เคยตรวจสุขภาพ	431	82.4
- ระหว่าง 0 - 6 เดือนที่ผ่านมา	273	52.2
- ระหว่าง 6 - 12 เดือนที่ผ่านมา	96	18.4
- มากกว่า 12 เดือนที่ผ่านมา	62	11.8
การปฏิบัติกิจของสงฆ์ (ในช่วง 1 สัปดาห์ที่ผ่านมาก่อนการสำรวจ)		
- ทำวัตรเช้า-เย็น	499	95.4
- กวาดลานวัด /ทำความสะอาดวัด	458	87.6
- บิณฑบาต	452	86.4
- รับกิจนิมนต์ภายในวัด	343	65.6
- รับกิจนิมนต์ภายนอกวัด	346	66.2
จำนวนครั้งในการฉันอาหาร/วัน		
- ฉัน 1 มื้อ	77	14.7
- ฉัน 2 มื้อ	446	85.3
การฉันน้ำปานะ (ในช่วง 1 สัปดาห์ที่ผ่านมาก่อนการสำรวจ) ***ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ***		
- ฉัน น้ำเปล่า	266	50.2
- ฉันน้ำปานะประเภท อื่น ๆ	264	49.8
- ฉันน้ำอัดลม เช่น โค้ก เป๊ปซี่	62	11.7
- ฉันน้ำหวาน (ขวด) เช่น อิชิตัน โออิชิ	16	3.06
- น้ำผลไม้ เช่น น้ำส้มคั้น น้ำผลไม้ (กล่อง)	54	10.2
- ฉันนม (กล่อง)	103	19.4
- ฉันเครื่องดื่มชูกำลัง (ขวด) เช่น M150	13	2.50
- ฉันน้ำต้มใบเตย น้ำต้มมะตูม	22	4.21
- ฉันกาแฟ (กระป๋อง) เช่น เบอร์ดี้	22	4.21
- ฉันนมเย็น ชาเย็น กาแฟเย็น	21	4.02
โรค หรือ ปัญหาสุขภาพ ที่เป็นเรื้อรังมานานเกินกว่า 6 เดือน		
- ไม่มี	268	51.2
- มี	255	48.8

2. พระภิกษุสูงวัยมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารอยู่ในระดับ พฤติกรรมที่ปานกลาง (ดังตารางที่ 3) เมื่อจำแนกตามคะแนนพฤติกรรมการบริโภค พบว่า พระภิกษุสูงวัย มีพฤติกรรมในระดับปานกลางมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 69.60 รองลงมามีพฤติกรรมอยู่ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 23.90 และมีพฤติกรรมอยู่ในระดับไม่ดี น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 6.50 (ดังตารางที่ 2) และเมื่อพิจารณารายข้อ จะพบพฤติกรรมด้านการบริโภคอาหารของพระภิกษุสูงวัย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดง จำนวน และร้อยละของคะแนนพฤติกรรมการบริโภคของตัวอย่างพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ จำแนกตามระดับการแปลความหมายคะแนน (n = 523 รูป)

รายการประเมิน	จำนวน	ร้อยละ	ระดับการแปลความหมาย
พฤติกรรมการบริโภค	125	23.90	ดี
	364	69.60	ปานกลาง
	34	6.50	ไม่ดี

ตารางที่ 4 แสดง ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการแปลความหมายคะแนนพฤติกรรมการบริโภคของตัวอย่างพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ (n = 523 รูป)

รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	$\overline{X}$	S.D.	การแปลความหมายคะแนน
พฤติกรรมการบริโภค	60	44.26	4.89	ระดับปานกลาง

ตารางที่ 5 แสดงร้อยละของพฤติกรรมการบริโภคของตัวอย่างพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ จำแนกตามรายข้อ (n = 523 รูป)

ข้อ	คำถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค	คำตอบ			
		ไม่เคยปฏิบัติ	ปฏิบัตินาน ๆ ครั้ง	ปฏิบัติบ่อยครั้ง	ปฏิบัติเป็นประจำ
1	พระคุณเจ้าฉัน อาหารครบ 5 หมู่ ทุกมื้อ	3.8	39.0	40.7	16.4
2	พระคุณเจ้าฉัน อาหารหมักดอง เช่น ผักดอง (ส้มผัก) ผลไม้ดอง	15.7	66.2	15.5	2.7
3	พระคุณเจ้าฉัน อาหารที่มีรสเค็ม	21.4	54.1	20.5	4.0
4	พระคุณเจ้าฉัน ขนมหวาน ทองหยิบ สังขยา ขนมชั้น หลังอาหาร	10.5	48.0	34.4	7.1
5	พระคุณเจ้าฉัน อาหารที่มีไขมันสูง เช่น ข้าวขาหมู พะแนงหมู	23.1	58.3	14.7	3.8
6	พระคุณเจ้าฉัน ผลไม้รสหวาน เช่น มะม่วงสุก ลำไย เงาะ	5.0	44.2	38.0	12.8
7	พระคุณเจ้าฉัน อาหาร ประเภท นึ่ง ต้ม ลวก เช่น ปลานึ่ง	1.1	15.9	51.8	31.2
8	พระคุณเจ้าฉัน น้ำสะอาดอย่างน้อยวันละ 8 - 10 แก้ว	2.7	14.9	44.9	37.5
9	พระคุณเจ้าฉัน เครื่องดื่มชูกำลัง เช่น M150 ลิโพ กระทิงแดง	22.9	48.6	21.6	6.9
10	พระคุณเจ้าฉัน น้ำปานะที่มีรสหวาน เช่น นมเย็น ชาเย็น	18.9	50.1	25.4	5.5
11	พระคุณเจ้าฉัน น้ำอัดลม เช่น เป๊ปซี่ โค้ก	37.1	49.5	9.6	3.8
12	พระคุณเจ้าฉัน อาหารทะเล เช่น หมึก กุ้ง ปูทะเล หอยนางรม	30.0	58.5	9.0	2.5
13	พระคุณเจ้าฉัน พิซซ่า หรือ มันฝรั่งทอด หรือ เฟรนช์ฟรายส์ หรือ แฮมเบอร์เกอร์	76.3	17.4	4.4	1.9
14	พระคุณเจ้าใช้ช้อนกลางเมื่อฉันอาหารร่วมกับพระภิกษุรูปอื่น	15.1	20.7	30.2	34.0
15	พระคุณเจ้าคำนึงถึงคุณค่าของสารอาหารที่ร่างกายจะได้รับในการฉันอาหารแต่ละมื้อ	10.5	29.8	33.3	26.4

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

พระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารอยู่ในระดับปานกลาง สอดคล้องกับผลการศึกษา ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการบริโภคของพระภิกษุและพฤติกรรมการถวายภัตตาหารของประชาชนในเขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร ของ ศนิกานต์ ศรีมณี และคณะ (2556) ที่พบว่าพฤติกรรมการบริโภคของพระภิกษุในเขตภาษีเจริญโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง และการศึกษาของ ปัณณธร ชัชวรัตน์ และสมานจิต ภิรมย์รื่น (2557) ที่ศึกษารูปแบบการส่งเสริมพฤติกรรมสุขภาพของพระสงฆ์ แล้วพบว่า พระสงฆ์ที่พักในวัดและสำนักสงฆ์ทางภาคเหนือมีพฤติกรรมด้านโภชนาการอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้การมีพฤติกรรมด้านการบริโภคอาหารอยู่ในระดับปานกลาง อาจเนื่องมาจาก พระภิกษุได้อาหารจากการรับบิณฑบาต หรืออาหารต่าง ๆ ที่พระภิกษุบริโภคขึ้นอยู่กับประชาชนที่ใส่บาตรหรือนำมาถวาย ในการบริโภคอาหารจึงเลือกฉันจากอาหารที่รับบิณฑบาตมาแล้วเท่านั้น ไม่สามารถปรุงอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารและมีประโยชน์ต่อร่างกายได้ จากการศึกษาของ อลงกรณ์ สุขเรืองกูล และคณะ (2560) พบว่า คนไทยจะถวายภัตตาหารที่อร่อยแด่พระสงฆ์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูง ส่วนข้อค้นพบของ สนธนา สีฟ้า (2560) ก็รายงานว่า ปัญหาการบริโภคของพระภิกษุส่วนใหญ่พบว่า มีการรับรู้ประโยชน์การบริโภคอาหารอยู่ในระดับมาก แต่พระภิกษุส่วนใหญ่ไม่ได้ปฏิบัติ เนื่องจากต้องฉันอาหารที่ญาติโยมนำมาถวาย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาหารประเภทไขมันสูง นอกจากนี้ ศุภลักษณ์ ธนธรรมสถิต และคณะ (2553) ก็ได้รายงานลักษณะของการฉันภัตตาหารของพระภิกษุในจังหวัดอุบลราชธานีซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ติดจังหวัดศรีสะเกษ ที่พบว่า พระภิกษุส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 86.4 ฉันภัตตาหารเป็นสำรับรวม และร้อยละ 51.7 ได้ฉันภัตตาหารประเภทไขมันสูง เช่น เนื้อสัตว์ติดมัน ภัตตาหารประเภททอดหรือผัด เสี่ยงต่อการเกิดภาวะไขมันในเลือดสูง

นอกจากนี้ การเลือกบริโภคหรือฉันอาหารของพระภิกษุที่จำกัดหรือมีตัวเลือกเฉพาะอาหารจากการถวายหรือใส่บาตรโดยประชาชน ซึ่งพระภิกษุไม่สามารถปรุงอาหารได้เอง จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พระภิกษุมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหรือมีปัญหาสุขภาพ ดังรายงานการศึกษาสภาพปัจจุบันปัญหาและความต้องการในการดูแลสุขภาพของพระสงฆ์ในจังหวัดขอนแก่น ของ พระครูสุวิธานพัฒนบัณฑิต ธวัลรัตน์ แดงหาญ และสรัญญา วภัชชวิธี (2558) ที่ว่า พระสงฆ์มีพฤติกรรมการรับประทานอาหารที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคในกลุ่มไม่ติดต่อเรื้อรัง ได้แก่โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง เช่นเดียวกับศึกษาสุขภาพพระสงฆ์ในบริบทชุมชนอุตสาหกรรม ของ วัชรินทร์ ออละออ (2557) ที่รายงานว่า ปัญหาอันเนื่องมาจากการฉันภัตตาหารของพระสงฆ์ คือ โรคความดันโลหิตสูง และโรคเบาหวาน และยังสอดคล้องกับการศึกษาเรื่อง การส่งเสริมการดูแลสุขภาพแบบองค์รวมของพระสงฆ์ในจังหวัดลพบุรีของ พระกิตติญาณเมธี วราภรณ์ ทรัพย์รวงทอง และสมบูรณ์ สุขสำราญ (2561) ที่พบว่า พระสงฆ์ส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ มีโรคประจำตัวเป็นโรคเรื้อรัง อาหารที่ฉันได้จากการบิณฑบาต เป็นอาหารประเภทแป้ง น้ำตาล กะทิ และไขมัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้บุคลากรที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานส่งเสริมสุขภาพด้านการบริโภคของพระภิกษุสูงวัยในสถานที่ที่ทำการศึกษา หรือสถานที่อื่น ๆ ที่มีบริบทใกล้เคียงกัน สำหรับใช้เป็นแนวทางในการวางแผนหารูปแบบในการส่งเสริมสุขภาพด้านการบริโภคอย่างต่อเนื่องได้

2. ควรจัดโครงการส่งเสริมพฤติกรรมการบริโภคอาหารให้กับพระภิกษุสูงวัย และโครงการนั้นต้องเป็นไปตามความต้องการของพระภิกษุสูงวัยด้วย ทั้งนี้เพื่อให้พระภิกษุสูงวัย เห็นถึงความสำคัญของการปฏิบัติพฤติกรรมสร้างเสริมสุขภาพด้านการบริโภคที่ดี

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. วิจัยเชิงคุณภาพเพื่อให้ทราบถึงปัญหา และอุปสรรคที่ทำให้พระภิกษุสูงวัยไม่สามารถปฏิบัติตนหรือมีพฤติกรรมการบริโภคที่ส่งผลดีต่อสุขภาพได้

2. ศึกษาวิจัยเชิงทดลอง หรือกึ่งทดลองเพื่อหาวิธีหรือแนวทางพัฒนาวิธีการดูแลสุขภาพตนเองของพระภิกษุสูงวัยอาทิ การจัดโปรแกรมให้ความรู้และแนวทางปฏิบัติแก่พระภิกษุสูงวัย

3. ศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการบริโภคของพระสงฆ์ในเมือง และพระสงฆ์ในชนบทหรือ เปรียบเทียบกับจังหวัดอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาสาสมัครพระภิกษุผู้สูงวัยทุกท่านที่เข้าร่วมโครงการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ งานวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ที่สนับสนุนทุนการดำเนินวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2562 แก่คณะผู้วิจัย และขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ที่สนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอผลงานวิชาการในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Cochran, W.G. (1953). *Sampling Techiques*. New York : John Wiley & Sons. Inc. Cronbach, Lee J. (1974). Essentials of Psychological Testing. 3rd ed. New York.

Cronbach, L. J. (1990). *Essentials of psychological testing.* 5th ed. New York : Harper Collins. Publishers.

เตชภณ ทองเติม. (2557). *การศึกษาภาวะทุพพลภาพของพระภิกษุสูงวัยในจังหวัดศรีสะเกษ*. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ.

ปิติณัช ราชภักดี ภาวิณี ศรีสันต์. (2561). พฤติกรรมการดูแลสุขภาพของพระภิกษุสงฆ์ในเขตเทศบาลนครอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี. *วารสารการแพทย์ โรงพยาบาลอุดรธานี*. 26(3), 199-207.

พระกิตติญาณเมธี วราภรณ์ ทรัพย์รวงทอง และสมบูรณ์ สุขสำราญ. (2561). การส่งเสริมการดูแลสุขภาพแบบองค์รวมของพระสงฆ์ในจังหวัดลพบุรี. *วารสารรัชต์ภาคย์*. 12(25), 94-107.

พระครูสุวิธานพัฒนบัณฑิต ธวัลรัตน์ แดงหาญ และสรัญญา วภัชชวิธี. (2558). การพัฒนารูปแบบการดูแลสุขภาพองค์รวมของพระสงฆ์ในจังหวัดขอนแก่น โดยเน้นการมีส่วนร่วมของเครือข่าย. *วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 7 จังหวัดขอนแก่น.* 22(2), 117-129.

วัชรินทร์ ออละออ. (2557). สุขภาพพระสงฆ์ในบริบทชุมชนอุตสาหกรรม. *วารสารวิจัยสังคม*. 37(2), 89-124.

ศนิกานต์ ศรีมณี ชนิดา มัททวางกูร พรพิมล ภูมิฤทธิกุล กุลธิกา จันทร์เจริญ เนตร หงส์ไกรเลิศ และนารี รมย์นุกูล. (2556). *ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการบริโภคของพระภิกษุสงฆ์และพฤติกรรม การถวายภัตตาหารของประชาชน ในเขตภาษีเจริญกรุงเทพมหานคร.* ศูนย์วิจัยเพื่อพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยสยาม และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.): กรุงเทพมหานคร

ศิริพร พรพุทธศิริพร พรพุทธษา. (2542). *ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมในการป้องกันภาวะหกล้มของผู้สูงอายุ*. ปริญญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพยาบาลผู้สูงอายุ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศุภลักษณ์ ธนธรรมสถิต ปราณปรียา โคสะสุ และศิรดา ศรีโสภา (2552). *สุขภาวะของพระภิกษุสงฆ์ในจังหวัดอุบลราชธานี*. ศูนย์อนามัยที่ 7. จังหวัดอุบลราชธานี

สนธนา สีฟ้า. (2560). *การศึกษาพฤติกรรมการสร้างเสริมสุขภาพของพระภิกษุ ในจังหวัดปัตตานี*. ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานพระพุทธศาสนา. (2560). *จำนวนพระภิกษุ – สามเณรทั่วประเทศ*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.onab.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=921:2010-10-07-11-33-40&catid=77:2009-07-14-14-27-10&Itemid=391 [2560, 20 กันยายน]

สำนักงานพระพุทธศาสนาจังหวัดศรีสะเกษ. (2560). *ข้อมูลวัดในจังหวัดศรีสะเกษ*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://ssk.onab.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=190&Itemid=128 [2560, 20 กันยายน]

สุทธิชัย จิตะพันธุ์กุล. (2537). ภาวะทุพพลภาพ: ปัญหาของผู้สูงอายุ. *จุฬาลงกรณ์เวชสาร*, 38 :67-75.

อลงกรณ์ สุขเรืองกูล ทวีลักษณ์ วรรณฤทธิ์ ประทับจิต บุญสร้อย และไพโรจน์ อุตศรี. (2560). ปัจจัยทำนายพฤติกรรมสร้างเสริมสุขภาพของพระสงฆ์ในจังหวัดเชียงราย. *พยาบาลสาร*. 44(2), 38-48.

การศึกษาระดับความดังเสียง การแยกวิเคราะห์ความถี่เสียง และการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น ในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า

กานต์นลินญา บุญที[1*] น้ำตาล สัมพันธ์วงค์[1] และวัชรี ถิ่นโพนตาล[1]
[1]สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*E-mail : kannalinya.b@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Descriptive Research) เพื่อศึกษาระดับเสียง แยกวิเคราะห์ความถี่เสียง และศึกษาการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า โดยใช้เครื่องตรวจวัดระดับเสียงชนิดแยกความถี่เสียงได้ (Sound Level Meter) ทำการตรวจวัดทั้งหมด 10 จุดในสายการผลิต และแบบสอบถามประเมินการได้ยิน 5 นาที (Chicago Hearing Society) ทำการเก็บข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าจำนวน 37 คน จากการศึกษาระดับเสียงและแยกวิเคราะห์ความถี่เสียง พบว่า ระดับความดังของเสียงในพื้นที่โรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า มีความดังเสียงเฉลี่ยที่ 70.90 - 76.00 dBA ระดับเสียงผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ. 2561 โดยกำหนดระดับปริมาณการสัมผัสเสียงในการทำงาน 8 ชั่วโมง ยอมให้สัมผัสได้ไม่เกิน 85 dBA และพบว่าความถี่เสียงอยู่ในช่วงความถี่ 3 ช่วง คือ 1,000 Hz., 2000 Hz. และ 4,000 Hz. จากการหาความสัมพันธ์โดยใช้สถิติ Pearson Chi - Square Test ของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการทำงานกับการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น พบว่า ชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยที่ต้องสัมผัสเสียงดังและประวัติการทำงานสัมผัสเสียงดังในอดีตมีความสัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ p-value = 0.004 และ0.028 ตามลำดับและผลการศึกษาแบบประเมินการสูญเสียการได้ยินการได้ยินเบื้องต้น พบว่ามีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก จำนวน 2 คน อยู่ในช่วงคะแนน 32 - 42 คะแนน ภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับมาก จำนวน 1 คน อยู่ในช่วงคะแนน 43 - 60 คะแนน ตามเกณฑ์แบบสอบถามการได้ยิน 5 นาทีของ Chicago Hearing Society อย่างไรก็ตามคำถามเหล่านี้เป็นเพียงคัดกรอง เท่านั้น หากสงสัยว่ามีปัญหาควรปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านหูโดยเฉพาะ ดังนั้นจึงควรมีการจัดระบบเฝ้าระวังการสูญเสียการได้ยิน ส่งเสริมและจัดโปรแกรมให้พนักงานมีความตระหนักในด้านการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายมากขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน

คำสำคัญ : การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน การแยกวิเคราะห์ความถี่เสียง โรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า

A Study of Noise Levels, Frequency Analysis and Noise Induced Hearing Loss In The Garment Factory

Kannalinya Boontee[1*] Namtan Sampawong[1] and Watcharee Tinpontan[1]
[1] Occupational Health and Safety, Biological Science Department, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
*E-mail: kannalinya.b@ubu.ac.th

Abstract

The descriptive study was conducted to describe the noise levels, frequency analysis and noise induced hearing loss in the Garment factory. Data were collected from 10 production line by using sound level meter and 37 workers by using 5-minute hearing test questionnaire of Chicago Hearing Society. The results showed that noise exposure for an 8-hour workday was found to be 70.90 - 76.00 dBA which was lower than the noise level standards, setting at 85 dBA by the Department of Labor Protection and Welfare and the noise frequency from 10 production line were in range of 1,000 Hz., 2000 Hz. and 4,000 Hz. The Pearson chi - square test is used for testing relationships between working factors and the questionnaire to assess hearing was determined and found that average working hours per day and a negative history of noise exposure was statistically significant (p-value = 0.004 and 0.028) respectively. The result from questionnaire to assess hearing found that 2 workers had a hearing score at 32 - 42 points and 1 worker had a hearing score at 43 - 60 points. Comparing this score

with the criteria of Chicago Hearing Society, it was found that hearing loss of the workers were categorize as severe-to-profound hearing loss. However, hearing test and hearing loss solution were probably needed for those workers. Moreover, those questionnaires were use as screening study. Thus, health check-up for hearing loss testing should be carried out among those workers. From the results of this study, it was suggested that the monitoring of occupational hearing loss, should be promoted and programmed for employees. Prevention of noise exposure and the use of personal protective equipment for reduce the risk of noise induced hearing loss.

Keywords : Noise, Frequency analysis, Hearing loss, Garment factory

บทนำ

การวิจัยเรื่อง การศึกษาระดับความดังเสียง การแยกวิเคราะห์ความถี่เสียง และการตรวจสมรรถภาพการได้ยินในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า งานวิจัยนี้เป็นการตรวจวัดระดับความดังเสียง แยกวิเคราะห์ความถี่เสียง ศึกษาสมรรถภาพการได้ยิน และหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยการทำงาน และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการทำงานกับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินจากเสียงดัง ซึ่งทำการตรวจวัดที่โรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า ซึ่งอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่มเป็นอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่และมีความสำคัญเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ต้องการของมนุษย์ อุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้ามีโอกาสเสี่ยงต่อสิ่งคุกคามทางสุขภาพและความไม่ปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเจ็บป่วย และเสื่อมถอยทางสุขภาพ ซึ่งผลกระทบและความเสี่ยงมักเกิดจากการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเต็มไปด้วยฝุ่นฝ้ายที่ก่อให้เกิดโรคปอดได้ และเสียงดังจากเครื่องจักรที่ก่อให้เกิดการสูญเสียการได้ยินจากการสัมผัสเสียงดังได้ การสูญเสียการได้ยินจากการสัมผัสเสียงดัง (Noise Induced Hearing Loss) เป็นการเสื่อมของประสาทหูอันเนื่องมาจากการสัมผัสเสียงดังที่เกิดจากการประกอบอาชีพเป็นสาเหตุที่พบได้บ่อยในพนักงานโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเสียงดัง (สำนักโรคประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. ,2560) โดยทางด้านเสียงดังที่เกิดจากอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้านี้เกิดจากการนำเครื่องมือ เครื่องจักรมาใช้ในการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ จึงกล่าวได้ว่าในกระบวนการตัดเย็บเสื้อผ้ามีความเสี่ยงที่จะทำให้พนักงานในโรงงานมีโอกาสสัมผัสอันตรายจากสภาพแวดล้อมการทำงานที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เสียงดังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพจากการทำงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าเสื้อผ้า การได้รับสัมผัสเสียงที่ดังมากเกินไป และนานเกินไปจนทำให้เกิดการได้ยินที่ผิดปกติขึ้น อาจเกิดการสูญเสียการได้ยินแบบชั่วคราว (Temporary Threshold Shirt ; TTS) หรือการสูญเสียการได้ยินแบบถาวร (Permanent Threshold Shirt ; PTS) การสูญเสียการได้ยินเนื่องจากการสัมผัสเสียงดังนั้นเป็นภาวะที่เกิดจากการสูญเสียการได้ยินอย่างถาวร ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาในการติดต่อสื่อสาร การปลีกตัวจากสังคม และคุณภาพชีวิตที่แย่ลง เป็นโรคที่เกิดจากการสัมผัสกับเสียงดังเกินไปเวลานานซึ่งเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ และการทำงานในงานอุตสาหกรรมการสูญเสียการได้ยินเนื่องจากการประกอบอาชีพนั้นไม่สามารถรักษาให้หายได้ และเป็นอาการที่เกิดขึ้นอย่างถาวรแต่สามารถป้องกันได้ จากงานวิจัย (จิราพร ประกายรุ้งทอง และสุวัฒนา เกิดม่วง, 2560) พบว่า คนที่ทำงานสัมผัสเสียงดังมากกว่า 5 ปี มีโอกาสสูญเสียการได้ยินมากขึ้น โดยการสูญเสียการได้ยินจะเกิดที่ความถี่สูง (3,000 - 6,000 Hz.) ก่อนเป็นอันดับแรก โดยปกติจะพบความผิดปกติที่ 4,000 Hz. แต่ถ้ายังมีการสัมผัสเสียงดังต่อไปอีก การสูญเสียการได้ยินจะขยายออกไปที่ช่วงความถี่ต่ำหรือความถี่การสนทนา (500 - 2,000 Hz.) ตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559 (http://www.oshthai.org/index.php?option=com_content&view=article&id=4 1 8 : - m-m-s&catid=1 : news-thai) นายจ้างต้องควบคุมระดับเสียง มิให้ลูกจ้างได้รับสัมผัสเสียงในบริเวณสถานประกอบกิจการที่มีระดับเสียงสูงสุด (Peak Sound Pressure Level) ของเสียงกระทบหรือเสียงกระแทก (Impact or Impulse Noise) เกิน 140 dB หรือได้รับสัมผัสเสียงที่มีระดับเสียงดังต่อเนื่องแบบคงที่ (Continuous Steady Noise) เกินกว่า 115 dB และระดับเสียงตลอดระยะเวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวันไม่เกิน 85 dB

จากปัญหาการสูญเสียการได้ยินจากการสัมผัสเสียงดังของคนงานนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาระดับความดังเสียง แยกวิเคราะห์ความถี่เสียง ศึกษาสมรรถภาพการได้ยิน และหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยการทำงาน และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการทำงานกับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินจากเสียงดังและตรวจสมรรถภาพการได้ยินของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปฏิบัติตามกฎหมาย นำไปสู่แผนการเฝ้าระวังและกำหนดแนวทางหรือมาตรการที่เหมาะสมเพื่อลดโอกาสเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยินจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในโรงงาน

วิธีการวิจัย

รูปแบบการดำเนินวิจัย

การดำเนินวิจัยในครั้งเป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Descriptive research) เพื่อศึกษาระดับเสียง แยกวิเคราะห์ความถี่เสียงและศึกษาการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1) การตรวจวัดระดับเสียงดังและแยกวิเคราะห์ความถี่เสียง โดยใช้เครื่องตรวจวัดระดับความดังเสียง (Sound level meter) ทำการตรวจวัดทั้งหมด 10 จุดในสายการผลิต

2) แบบสอบถาม ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคล

ส่วนที่ 2 ปัจจัยด้านการทำงาน

ส่วนที่ 3 ปัจจัยด้านสุขภาพ การประเมินการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นโดยแบบสอบถามการได้ยิน 5 นาที Chicago Hearing Society จำนวน 15 ข้อ

ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างการศึกษาครั้งนี้คือพนักงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้ามีจำนวน 216 คน โดยคัดเลือกพนักงานแผนกตัดเย็บเสื้อผ้าที่มีอายุการทำงาน 5 ปีขึ้นไป มีจำนวน 37 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สถิติ Pearson Chi - Square Test ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านการทำงาน ปัจจัยด้านสุขภาพกับผลการประเมินการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น

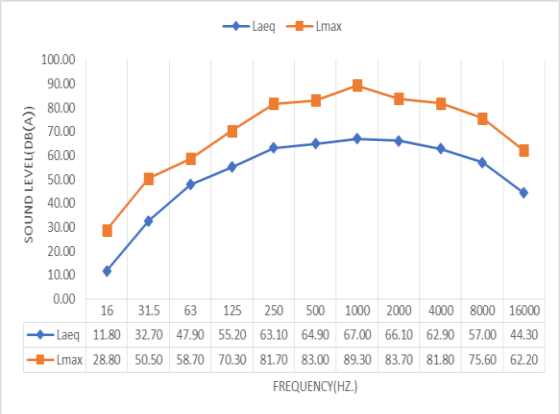
ผลการวิจัย

ข้อมูลปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการทำงานผลการตรวจวัดระดับเสียงแบบพื้นที่ การตรวจวัดระดับความดังเสียงในสายการผลิตทำการตรวจวัดทั้งหมด 10 สายการผลิต พบว่า ระดับความดังเสียงเฉลี่ยที่วัดได้อยู่ในช่วง 70.90 - 76.00 dBA ระดับเสียงสูงสุดอยู่ในช่วง 80.30 - 98.70 dBA ระดับเสียงต่ำสุดอยู่ในช่วง 35.00 - 79.80 dBA และระดับเสียงสูงสุดของเสียงกระทบหรือเสียงกระแทกอยู่ในช่วง 99.80 - 115.80 dBA ซึ่งบริเวณพื้นที่การตรวจวัดทั้งหมดมีค่าระดับความดังเสียงเฉลี่ยที่วัดได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ. 2561 โดยกำหนดระดับปริมาณการสัมผัสเสียงในการทำงาน 8 ชั่วโมง ยอมให้สัมผัสได้ไม่เกิน 85 dBA

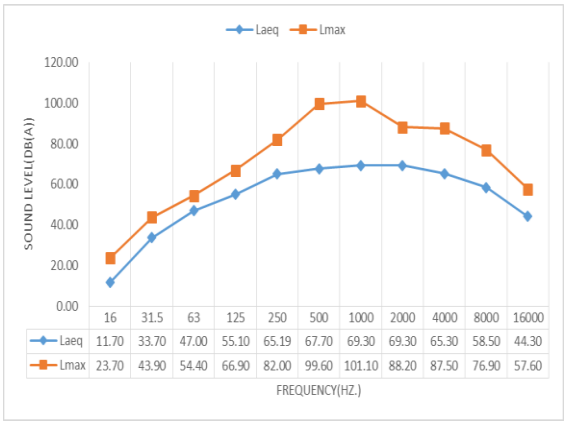
ตารางที่ 1 ข้อมูลการตรวจวัดระดับเสียง

บริเวณจุดตรวจวัดเสียง	จำนวนคนสัมผัสเสียง	ระดับเสียง dB (A)			L_{aeq}
		L_{max}	L_{min}	L_{pk}	
สายการผลิต 1	16	82.30	35.00	103.80	72.30
สายการผลิต 2	15	97.00	68.00	114.60	74.90
สายการผลิต 3	14	80.30	68.70	105.60	73.50
สายการผลิต 4	15	82.80	44.30	105.20	70.90
สายการผลิต 5	14	98.70	67.70	115.80	76.00
สายการผลิต 6	14	89.20	70.10	104.80	75.20
สายการผลิต 7	14	81.30	70.40	99.80	73.60
สายการผลิต 8	13	85.10	69.70	100.40	73.90
สายการผลิต 9	14	81.90	79.80	104.80	73.50
สายการผลิต 10	13	82.80	69.40	105.50	73.00

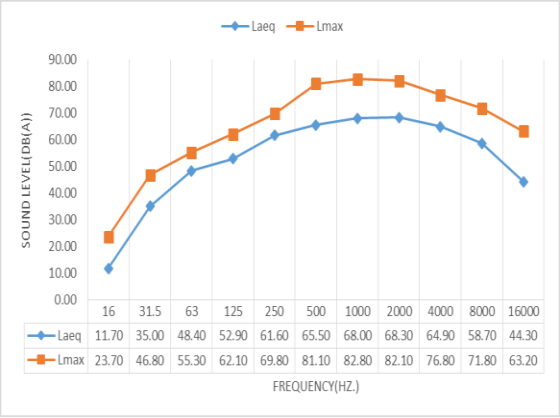
ข้อมูลปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการทำงาน ผลการแยกวิเคราะห์ความถี่เสียงในบริเวณแบบพื้นที่ทั้งหมด 10 สายการผลิต โดยทำการตรวจวัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ค่า Leq และค่า Lmax ความถี่ที่ทำให้ระดับเสียงสูงอยู่ในช่วง 1,000 Hz., 2,000 Hz. และ 4,000 Hz. โดยในการวิเคราะห์ความถี่เสียงจะนำไปใช้ในการวางแผนการควบคุมเสียง (Noise Control) เช่น การเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียง และการเลือกปลั๊กอุดหูหรือที่ครอบหูที่เหมาะสมได้ ทั้งนี้ที่ครอบหู (Ear muff) ลดเสียงได้ตั้งแต่ 30-40 dB ลดเสียงที่ความถี่สูงกว่า 400 Hz ได้ดี (http://www.thai-safetywiki.com/safety-knowledge-53/50-hearing-protection/76-hear-protector)



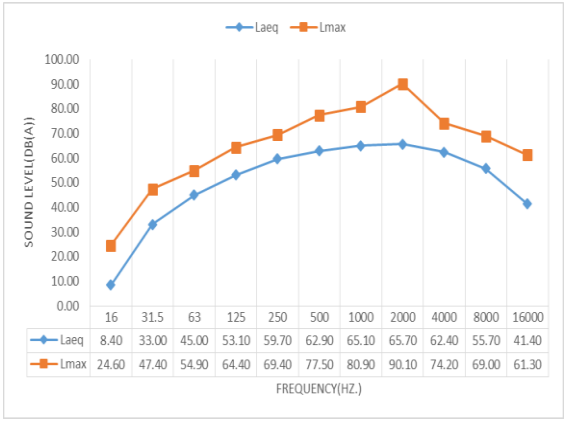
ภาพที่ 1 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 1



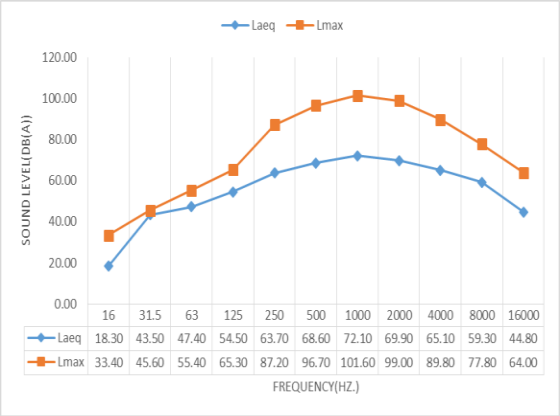
ภาพที่ 2 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 2



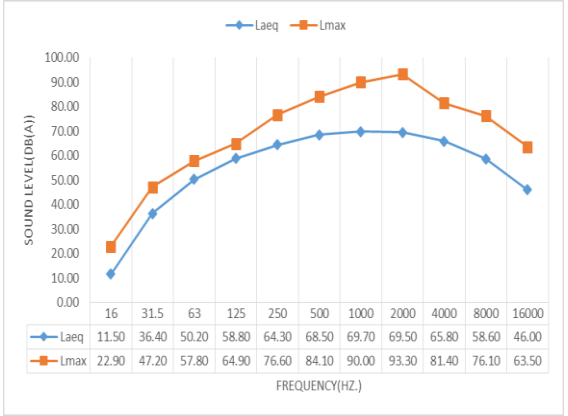
ภาพที่ 3 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 3



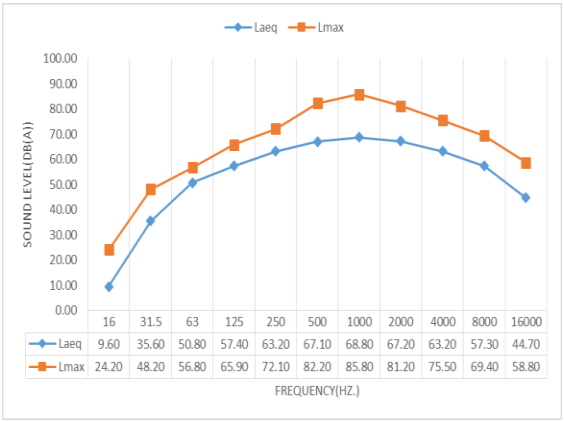
ภาพที่ 4 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 4



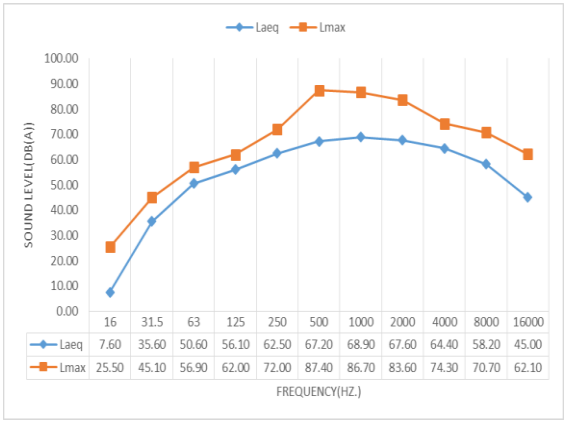
ภาพที่ 5 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 5



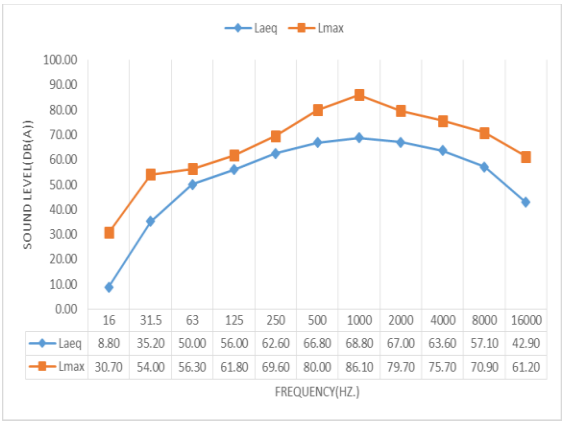
ภาพที่ 6 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 6



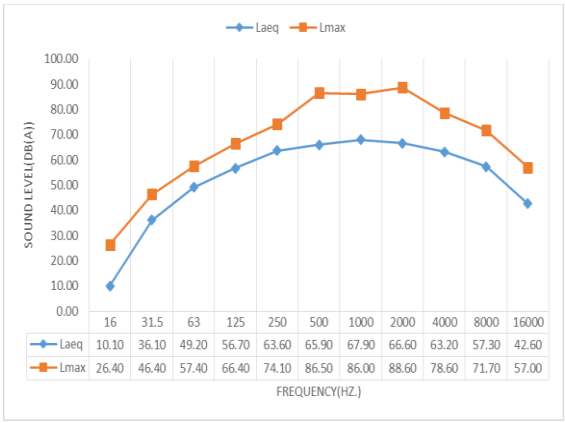
ภาพที่ 7 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 7



ภาพที่ 8 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 8



ภาพที่ 9 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 9



ภาพที่ 10 ความถี่เสียงสายการผลิตที่ 10

ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล พบว่า ส่วนใหญ่คนงานเป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 91.90 อายุอยู่ในช่วงอายุ 41 - 50 ปี คิดเป็นร้อยละ 62.20 คนงานส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรส คิดเป็นร้อยละ 75.70 คนงานส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 43.20 อื่น ๆ โดยคนงานไม่เคยมีอาการผิดปกติเกี่ยวกับหูมาก่อน คิดเป็นร้อยละ 100

ข้อมูลปัจจัยด้านการทำงาน พบว่า คนงานส่วนใหญ่ปฏิบัติในโรงงานมาแล้วอยู่ในช่วง 5 - 10 ปี คิดเป็นร้อยละ 93.30 คนงานส่วนใหญ่ทำงานอยู่ที่ 8 - 10 ชั่วโมง/วัน คิดเป็นร้อยละ 86.50 คนงานส่วนใหญ่ไม่เคยปฏิบัติงานในที่ที่มีเสียงดังมาก่อนก่อนที่จะมาปฏิบัติงานในโรงงานแห่งนี้ คิดเป็นร้อยละ 67.60 คนงานไม่เคยสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันเสียงดัง คิดเป็นร้อยละ 94.60 พฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียงดัง พบว่า คนงานส่วนใหญ่ไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันเสียงดังระหว่างการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 94.60

ข้อมูลปัจจัยด้านสุขภาพการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น (Chicago Hearing Society) พบว่า การวิเคราะห์ข้อมูลแบบประเมินการสูญเสียการได้ยินการเบื้องต้นและการแปลผลคะแนน Chicago Hearing Society (แสดงดังภาพที่ 11) ของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า จากการคำนวณค่าเกณฑ์คะแนนของแบบสอบถามการได้ยิน 5 Minutes Hearing Test – Chicago Society ประกอบด้วยคำถาม 15 ข้อ คะแนนสูงสุด 60 คะแนน พบว่า

- ค่าคะแนนช่วง 0 - 9 มีจำนวน 18 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า ไม่มีภาวะการสูญเสียการได้ยินหรือหูปกติ
- ค่าคะแนนช่วง 10 - 19 จำนวน 12 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับน้อย
- ค่าคะแนนช่วง 20 - 25 จำนวน 3 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับน้อยถึงปานกลาง
- ค่าคะแนนช่วง 26 - 31 จำนวน 1 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับปานกลาง
- ค่าคะแนนช่วง 32 - 42 จำนวน 2 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก
- ค่าคะแนนช่วง 43 - 60 จำนวน 1 คน ซึ่งแปลผลได้ว่ามีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับมาก

1 What is your hearing loss score?	2 How does your hearing loss compare to others?	3 How does your significant other describe your hearing loss?	4 Hearing Solution Action Needed
0-4	Lower 5%	Very Mild	None
5-9	Lower 10%	v	v
10-13	Lower 15%	Majority mild with some moderate	Hearing test may be necessary to monitor your hearing.
14-17	Lower 20%	|	|
18-19	Lower 25%	v	v
20-21	Lower 30%	Majority moderate with about a third mild	Hearing test recommended; hearing solution based on lifestyle
22-23	Lower 35%	|	v
24-25	Lower 40%	v	Hearing test recommended; hearing solution probably needed in many situations.
26-27	Lower 45%	Majority moderate with some mild	|
28-29	Middle 50%	|	|
30-31	Upper 45%	v	v
32-33	Upper 40%	Majority moderate to severe	Extensive communication difficulty requiring testing and hearing solution.
34-35	Upper 35%	|	|
36-37	Upper 30%	|	|
38-39	Upper 25%	|	|
40-42	Upper 20%	v	|
43-45	Upper 15%	Majority severe to profound	|
46-50	Upper 10%	|	|
51-55	Upper 5%	|	|
56-60	Upper 1%	v	v

*Source: Koike , J.; Hurst, M.K.; and Wetmore, S. J. Correlation between the American Academy of Otolaryngology- Head and Neck Surgery five-minute hearing test and standard audiological data, Otolaryngology – Head and Neck Surgery, Volume 111 (5), pp. 625-632.

ภาพที่ 11 5-minute Hearing Test [Chicago Hearing Society]

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลกับผลการประเมินการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น โดยใช้สถิติ Pearson Chi - Square Test พบว่า เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value > 0.05)

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปัจจัยการทำงานกับผลการประเมินการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น พบว่า ชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยที่ต้องสัมผัสเสียงดังมีความสัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.004) และประวัติการทำงานสัมผัสเสียงดังในอดีตมีความสัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.028)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การตรวจวัดระดับความดังเสียงแบบพื้นที่ของโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี ทำการตรวจวัดบริเวณพื้นที่การทำงาน ทั้งหมด 10 สายการผลิต โดยค่าระดับความดังเสียงเฉลี่ยที่วัดได้อยู่ในช่วง 70.90 - 76.00 dBA ระดับเสียงสูงสุดอยู่ในช่วง 80.30 - 98.70 dBA ระดับเสียงต่ำสุดอยู่ในช่วง 35.00 - 79.80 dBA และระดับเสียงสูงสุดของเสียงกระทบหรือเสียงกระแทกอยู่ในช่วง 99.80 - 115.80 dBA ซึ่งบริเวณพื้นที่การตรวจวัดทั้งหมดมีค่าระดับความดังเสียงเฉลี่ยที่วัดได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด จากงานวิจัยของ (Md. Yusuf Haider et al, 2008) ได้ทำการศึกษาเรื่องการสูญเสียการได้ยินของคนงานในโรงงานทอผ้า ผลการศึกษา พบว่า ระดับความดังเสียงในแผนกเย็บผ้ามีระดับเสียงดังอยู่ในช่วง 77 - 85 dBA จากการศึกษา (Alshebli A. Ahmed And Mohammed A. Awadalkarim , 2015) ได้ทำการศึกษาเรื่องการสัมผัสเสียงดังในโรงงานทอผ้า 2 แห่งในประเทศซูดาน ผลการศึกษา พบว่า มีระดับเสียงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 88.00 ± 6.50 และ 86.10 ± 6.40 dBA ระดับเสียงสูงสุดอยู่ในช่วง 89.20 ± 5.60 dBA และ 87.30 ± 4.00 dBA ระดับเสียงต่ำสุดอยู่ในช่วง 86.90 ± 2.20 และ 85.30 ± 3.10 dBA และระดับเสียงสูงสุดของเสียงกระทบหรือเสียงกระแทกอยู่ในช่วง 104 .20 ± 2.10 และ 102.20 ± 2.90 dBA ไม่สอดคล้องกันเพราะ ระดับความดังเสียงอาจแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะเครื่องจักร จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ และขนาดโรงงาน

เนื่องจากงานวิจัยของเราทำการศึกษาระดับความดังเสียงจากจักรเย็บผ้าขนาดเล็ก ได้แก่ จักรเข็มเดี่ยว จักรเข็มคู่ จักรซิกแซก จักรย้ำหนอน มีลักษณะเสียงดังต่อเนื่องแบบคงที่ และเป็นโรงงานขนาดเล็ก แต่ในโรงงานทอผ้าเครื่องจักรที่ใช้อาจจะเป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ มีจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการสูญเสียการได้ยิน

ข้อมูลปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการทำงานผลการตรวจวัดความถี่เสียง พบว่า ค่า L_{eq} และ ค่า L_{max} ความถี่ที่ทำให้ระดับเสียงสูงอยู่ในช่วง 1,000 Hz., 2,000 Hz. และ 4,000 Hz. สอดคล้องกับการศึกษาของ (Alshebli A. Ahmed And Mohammed A. Awadalkarim , 2015) ได้ทำการศึกษาการสัมผัสเสียงดังในโรงงานทอผ้า 2 แห่งในประเทศซูดาน พบว่า ระดับความดังเสียงจะสูงในช่วงความถี่ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 Hz. จากศูนย์วิเคราะห์สุขภาพ เวล บีอิ้ง บาย อาร์ไอเอส (http://wellbeing.ria.co.th/2017-05-08-03-16-23.html) การเสื่อมของการได้ยิน โดยจะเริ่มเสื่อมในการได้ยินความถี่สูงก่อน (เสียงแหลม) และจะค่อย ๆ เสื่อมเข้าสู่ความถี่ต่ำ (เสียงทุ้ม) การวัดสมรรถภาพการได้ยินจึงวัด 2 ช่วง คือ ช่วงความถี่ของการรับฟังคำพูด ซึ่งวัดที่ความถี่ 500, 1,000, 2,000, 3,000 Hz.กับช่วงความถี่ของเสียงเครื่องจักร ซึ่งวัดที่ความถี่ 4,000, 6,000, 8,000 Hz. เมื่อเริ่มมีความเสื่อมของการได้ยินมักจะเริ่มต้นที่มีการสูญเสียการได้ยินในความถี่ 4,000 Hz. ก่อน แล้วขยายออกไปทั้งความถี่สูงขึ้นและความถี่ต่ำลงมา จึงต้องปฏิบัติตัวป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียการได้ยินเพิ่มขึ้น โดยมีเกณฑ์การวัดระดับของการได้ยินจึงใช้ช่วงความถี่ของการรับฟังคำพูด (500 - 3,000 Hz.) สอดคล้องกันเนื่องจากระดับความถี่เสียงที่ทำให้ระดับเสียงดังที่สุดอยู่ในช่วงความถี่ที่เหมือนกัน ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการได้ยิน

ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า คนงานส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 91.90 คนงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 41 - 50 ปี คิดเป็นร้อยละ 62.20 คนงานส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 43.20 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของไอรฎา คงคาชัย (ไอรฎา คงคาชัย ,2553) ศึกษาสมรรถภาพการได้ยินและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากเสียงของคนงานแผนกทอผ้าในโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้า จังหวัดระยอง ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มคนงานส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 84.03 อายุอยู่ในช่วง 20 - 59 ปี ระดับการศึกษากลุ่มตัวอย่าง จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 ร้อยละ 34.72 สอดคล้องกันเนื่องจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง โดยอายุของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างกัน และลักษณะการทำงานที่สัมผัสเสียงดังจากเครื่องจักรตลอดระยะเวลาการทำงาน ซึ่งจะทำให้ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียการได้ยินของคนงาน

ข้อมูลปัจจัยด้านการทำงานจากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ระยะเวลาในการทำงาน คนงานส่วนใหญ่ปฏิบัติในโรงงานมาแล้วอยู่ในช่วง 5 - 10 ปี คิดเป็นร้อยละ 93.30 คนงานส่วนใหญ่ทำงานอยู่ที่ 8 - 10 ชั่วโมง / วัน คิดเป็นร้อยละ 86.50 คนงานส่วนใหญ่ไม่เคยปฏิบัติงานในที่ที่มีเสียงดังมาก่อนก่อนที่จะมาปฏิบัติงานในโรงงานแห่งนี้ คิดเป็นร้อยละ 67.60 คนงานส่วนใหญ่ไม่เคยสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันเสียงดัง คิดเป็นร้อยละ 94.60 พฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียงดัง คนงานส่วนใหญ่ไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันเสียงดังระหว่างการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 94.60 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของไอรฎา คงคาชัย (ไอรฎา คงคาชัย ,2553) ศึกษาสมรรถภาพการได้ยินและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากเสียงของคนงานแผนกทอผ้าในโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้า จังหวัดระยอง ผลการศึกษา พบว่า ระยะเวลาในการทำงานในแผนกทอผ้า อยู่ในช่วง 6 เดือน - 20 ปี โดยกลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 31.15 ทำงานอยู่ในช่วง 1 - 5 ปี ชั่วโมงการทำงานต่อสัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 68.75 ทำงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 48 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ประวัติการทำงานในสถานประกอบการที่มีเสียงดังและการสัมผัสเสียงดังในอดีตของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่เคยสัมผัสเสียงดังในอดีต คิดเป็นร้อยละ 86.11 และเคยสัมผัสเสียงดังในอดีต คิดเป็นร้อยละ 13.89 สอดคล้องกันเพราะกลุ่มตัวอย่างมีระยะเวลาการทำงานแต่ละวันที่เหมือนกัน ประมาณ 8 - 10 ชั่วโมง / วัน ระยะเวลาที่ทำงานในแผนกทอผ้าอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างกัน และ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่เคยสัมผัสเสียงดังในอดีต ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียการได้ยิน

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบประเมินการสูญเสียการได้ยินการได้ยินเบื้องต้นทั้ง 15 ข้อ และการแปลผลคะแนน Chicago Hearing Society ของคนงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าจากการคำนวนค่าเกณฑ์คะแนนของแบบสอบถามการได้ยิน 5 Minutes Hearing Test - Chicago Society ประกอบด้วยคำถาม 15 ข้อ มีตัวเลือก คะแนนสูงสุด 60 คะแนน ผลการประเมินการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นของคนงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า พบว่า ผู้ตอบคำถามมีค่าคะแนนช่วง 0 - 9 จำนวน 18 คน ซึ่งแปลผลได้ว่าไม่มีภาวะการสูญเสียการได้ยินหรือหูปกติ ค่าคะแนนช่วง 10 - 19 จำนวน 12 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวการณ์สูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับน้อย ค่าคะแนนช่วง 20 - 25 จำนวน 3 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับน้อยถึงปานกลาง ค่าคะแนนช่วง 26 - 31 จำนวน 1 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับปานกลาง ค่าคะแนนช่วง 32 - 42 จำนวน 2 คน ซึ่งแปลผลได้ว่ามีภาวะการสูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก ค่าคะแนนช่วง 43 - 60 จำนวน 1 คน ซึ่งแปลผลได้ว่า มีภาวการณ์สูญเสียการได้ยินอยู่ในระดับมาก อย่างไรก็ตามคำถามเหล่านี้เป็นเพียงการคัดกรองเท่านั้น ถ้าสงสัยว่า

มีปัญหาควรปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านหูโดยเฉพาะ เพราะการประเมินของผู้วิจัยนี้ใช้เทียบกับเกณฑ์แบบสอบถามการได้ยิน 5 Minutes Hearing Test - Chicago Society (https://www.chicagohearingsociety.org/files/QuickHearingCheck.pdf) ที่ค่าคะแนนการสูญเสียการได้ยินจากการทดสอบในแบบสอบถามเป็นเกณฑ์คะแนนที่ได้มาจากการเปรียบเทียบกับผู้สูงอายุที่สูญเสียการได้ยินจากการตอบคำถาม 15 ข้อ และมีการรวบรวมข้อมูลการสูญเสียการได้ยินจาก The National on The Aging (ACOA) ซึ่งเป็นข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 2,304 คน ที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป สืบเนื่องมีข้อคำถามในแบบสอบถามที่เหมือนกัน และมีการประเมินผลการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นที่เหมือนกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปัจจัยการทำงานกับผลการประเมินการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้น พบว่า ชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยที่ต้องสัมผัสเสียงดัง และประวัติการทำงานสัมผัสเสียงดังในอดีต มีความสัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสียการได้ยินเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพรพิมล กองทิพย์ (พรพิมล กองทิพย์ , 2555) ถ้าหูได้ยินเสียงดังมากเกินไปการสูญเสียการได้ยินจะเริ่มเกิดบางส่วน มีปัจจัยหลายชนิดที่ทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยิน ซึ่งมี 4 ปัจจัย ที่สำคัญที่สุด ได้แก่ ความเข้มของเสียงหรือความดังของเสียง ความถี่ของเสียง ระยะเวลาได้รับเสียงในแต่ละวัน จำนวนปีที่ทำงานซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้สูญเสียการได้ยินเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับเสียงและเวลาการได้รับเสียงที่ทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยินมีความซับซ้อน สืบเนื่องจากคนงานส่วนใหญ่จะสัมผัสเสียงดังตลอดระยะเวลาทำงาน 8 - 10 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งระยะเวลาในการสัมผัสเสียงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียการได้ยินประวัติการทำงานสัมผัสเสียงดังในอดีตมีความสัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสีย การได้ยินเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าการสัมผัสเสียงดังในอดีตของคนงานมีผลกระทบต่อการสูญเสียการได้ยินของคนงานโดยคนงานที่เคยสัมผัสเสียงดังในอดีต เคยทำงานสัมผัสเสียงดังจากเครื่องจักรจะมีโอกาสสูญเสียการได้ยินเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท พรูเด็นเชียล แอมพรี (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559. หมวด 3 เรื่องเสียง. (2559) สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์, 2561, จาก : http://www.oshthai.org/index.php?option=com_content&view=article&id=418:-m-m-s&catid=1:news-thai

จิราพร ประกายรุ้งทอง และสุวัฒนา เกิดม่วง. (2560). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการสูญเสียการได้ยินจากการทำงาน ในกลุ่มคนงานโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ จังหวัดสุพรรณบุรี. Journal of Nursing and Health Care, 35(3); 98-108

พรพิมล กองทิพย์ (2555). สุขศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial Hygiene). กรุงเทพ ฯ : เบส กราฟฟิค เพรส จำกัด. 2555

ศูนย์วิเคราะห์สุขภาพ เวล บีอิ้ง บาย อาไอเอส. การตรวจสมรรถภาพการได้ยิน. สืบค้นเมื่อ 23 มีนาคม, 2561, จาก ; http://wellbeing.ria.co.th/2017-05-08-03-16-23.html

สำนักโรคประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2560). โรคประสาทหูเสื่อมจากการทำงาน. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน, 2561, จาก http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/73

ไอรฎา คงคาชัย. (2553). ศึกษาสมรรถภาพการได้ยินและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากเสียงของคนงานแผนกทอผ้าในโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าจังหวัดระยอง[วิทยานิพนธ์ปริญญาพยาบาลศาสตร์]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Alshebli A. Ahmed And Mohammed A. Awadalkarim (2015). Noise exposure in two textile e plants in Sudan. European Scientific Journal February 2015 edition, 11(5), 188 - 195.

Chicago Hearing Society A division of Anixter Center. (n.d.). 5-minute Hearing Test. Retrieved July 27, 2018. from https://www.chicagohearingsociety.org/files/QuickHearingCheck.pdf

Md. Yusuf Haider, Ahmmad Taous, Manjur Rahim, AHM Zahurul Huq And M Abdullah. (2008). Noise induced hearing loss among the textile industry workers. Bangladesh J of Otorhinolaryngology 2008, 14(2), 39 – 45.

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโซลตาน โคดาย

จิระพงษ์ ปะกาโส
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สาขาวิจัยและประเมินผลการศึกษา(แผนวิชาชีพครู)
*E-mail : aonmsumua@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง การเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโซลตาน โคดาย มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายกับเกณฑ์ร้อยละ 80 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดาย กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 โรงเรียนโนนแดงวิทยาคมตำบลโนนแดง อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 26 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 1 ห้องเรียน ทั้งหมด 25 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ 3) แบบทดสอบทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ 4) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มเดียว (One-Sample t-test)

ผลการวิจัยพบว่า 1) กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.06 / 88.00 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 2) การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายกับเกณฑ์ร้อยละ 80 แบ่งได้เป็น 2 ตอนดังนี้ 2.1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 2.2) ทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 3) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 มีความพึงพอใจต่อ กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดาย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.91 , $S.D.$ = 0.26)

คำสำคัญ : การเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ โคดาย

The Development of Recorder Lesson According to Kodaly Approach

Jirapong Pakaso
Rajabhat Maha sarakham University Education Research and Evaluation Branch
*E-mail : aonmsumua@gmail.com

Abstract

This study focuses on 1) developing recorder-flute lesson by using Kodaly Approach in order to create 80/80 effective rate in outcome, 2) comparing the results of pre-lesson and post-lesson by using 80 percent criteria, 3) measuring learners' satisfaction of the lesson. The target samples, were 25 Matthayomsueksa 1/1 students in Nondaeng Wittayakhom School, Borabue, Maha Sarakham. This research used purposive sampling for getting informants. Research tools were 1) Kodaly Approach-based recorder-flute plans, 2) Kodaly Approach-based recorder post-lesson exams, 3) Kodaly Approach-based recorder practical examination forms, and 4) satisfaction survey of recorder lesson. Researcher used one-sample t-test to prove the data.

The result shows that 1) effectiveness index of Kodaly Approach-based recorder-flute plan is 86.06/88.00 which is beyond average. 2) The comparing of result is divided into two parts including 2.1) the post-lesson result is higher than average 80 percent at .01 level of statistical significance. 2.2) the performing ability is getting higher

than average for 80 percent within 0.01 statistical significance. 3) The overall satisfaction of students is at the highest level. ($\bar{X}$ = 4.91 , $S.D.$ = 0.26)

Keywords : Learning Activity, Recorder-Flute Lesson Kodaly Approach.

บทนำ

ดนตรีกับมนุษย์เป็นสิ่งที่อยู่ร่วมกันมาตั้งแต่อดีต ดนตรีเกิดจากการสร้างสรรค์ของมนุษย์และสิ่งที่สร้างสรรค์นี้จัดว่าเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมดนตรีเข้าไปเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนในทุก ๆ ระดับ ซึ่งอาจเกิดจากแรงบันดาลใจ ที่จะพยายามสะท้อนภาพความเป็นจริงของตนหรือสะท้อนภาพความเป็นจริงของสังคมที่เกิดขึ้นในแต่ละยุคสมัย ปัจจัยความเป็นอยู่ สภาวะแวดล้อมเป็นตัวกำหนดหรือเป็นวัตถุดิบที่นำมาผสมผสานและสร้างสรรค์กับแนวคิดทางศิลปะที่สะท้อนผ่านออกมาทางดนตรีและบทเพลงในแง่มุมต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน (พงษ์ลดา นาควิเชียร. 2551:8) วิชาดนตรีเป็นวิชาเป็นวิชาที่มีความสำคัญ สามารถพัฒนาให้นักเรียนมีร่างกายจิตใจสติปัญญาความรู้คุณธรรมและวัฒนธรรมการดำรงชีวิตเข้าใจถึงประวัติความเป็นมาของวัฒนธรรมด้านดนตรีตลอดจนทำให้นักเรียนค้นพบศักยภาพของตนเองในด้านดนตรีมีความสามารถในการแสดงออกตามความสามารถของตนที่มีอยู่ด้วยสติปัญญาสมาธิและเชาว์ปัญญาเพื่อสะท้อนวัฒนธรรมทั้งของตนเองและวัฒนธรรมอื่น ๆ (เครือวัลย์ สุขเจริญ. 2551)

กลุ่มสาระการเรียนรู้ศิลปะเป็นกลุ่มสาระที่ช่วยพัฒนาให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีจินตนาการทางศิลปะชื่นชมความงาม มีสุนทรียภาพ ความมีคุณค่า ซึ่งมีผลต่อคุณภาพชีวิตมนุษย์กิจกรรมทางศิลปะช่วยพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านร่างกาย จิตใจ สติปัญญา อารมณ์ สังคม ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความเชื่อมั่นในตนเองอันเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อหรือประกอบอาชีพได้ กลุ่มสาระการเรียนรู้ศิลปะมุ่งพัฒนาให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจ มีทักษะวิธีการทางศิลปะ เกิดความซาบซึ้งในคุณค่าของศิลปะ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงออกอย่างอิสระในศิลปะแขนงต่าง ๆ ประกอบด้วยสาระสำคัญ 3 สาระคือ ทัศนศิลป์ ดนตรี และนาฏศิลป์ (หลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนโนนแดงวิทยาคม. 2561)

กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ เป็นกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ในรายวิชาศิลปะพื้นฐานสาระการเรียนรู้ดนตรี ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ในเรื่องทฤษฎีเบื้องต้นสำหรับขลุ่ยรีคอร์เดอร์ ประวัติความเป็นมาของขลุ่ยรีคอร์เดอร์ และทักษะในด้านการอ่านโน้ต และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ ซึ่งผู้เรียนจะสามารถเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ได้ถูกต้องและถูกวิธี เมื่อได้รับการฝึกที่เหมาะสมและถูกวิธีสำหรับผู้เรียน กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์นั้น กลุ่มสาระการเรียนรู้ศิลปะสาระการเรียนรู้ดนตรี ได้จัดให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ซึ่ง เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ จะสังเกตเห็นได้ว่า ผู้เรียนมีปัญหาด้านการอ่านโน้ต การร้องโน้ต โดยผู้เรียนมักอ่านโน้ตเพลงและทำนองเพลงได้ไม่ตรงตามโน้ตตามจังหวะ และระดับเสียงของเพลง จากการสอบถามปัญหาเบื้องต้น พบว่าผู้เรียนมีปัญหาเกี่ยวกับรูปแบบการอ่านโน้ตที่ข้อนข้างซับซ้อนจากวิธีการสอนแบบเดิมเพราะใช้รูปแบบโน้ตสากลและตัวอักษร ที่ใช้แทนเสียงตัวโน้ตนั้นๆ ทำให้จำได้ยาก จึงทำให้ผู้เรียนมีทักษะด้านการอ่านโน้ตและปฏิบัติเครื่องดนตรีที่ช้ากว่าปกติ

จากสภาพปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของการ อ่านโน้ต ที่ส่งผลต่อการพัฒนาทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ โดยใช้ทฤษฎีการสอนดนตรีของโซลตาน โคดาย ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เริ่มจากการฝึกจากระดับง่าย และค่อยๆ เพิ่มระดับไปยาก จนเกิดความชำนาญในการเล่นดนตรี โดยการสอนของโคดายจะมุ่งส่งเสริมเรื่องการร้องและการอ่านโน้ต โดยนำสิ่งต่างๆ มาใช้ในการสอนดนตรี เช่น การใช้ระบบการเรียกชื่อตัวโน้ตในระบบ ซอล – ฟา การใช้สัญญาณมือควบคู่ไปกับการอ่านโน้ต ซึ่งเป็นไปตามหลักการพัฒนาการของการเรียนรู้ เนื่องจากผู้เรียนจะเรียนรู้สิ่งต่างๆ ได้ดีกว่า เมื่อสิ่งนั้นเป็นรูปธรรม (ณรุทธ์ สุทธจิตต์. 2536 อ้างอิงจาก Kodaly. 1974) เมื่อผู้เรียนสามารถอ่านโน้ตและร้องโน้ตเพลงได้ ก็จะเข้าสู่การปฏิบัติเครื่องดนตรีชนิดขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้จะส่งผลต่อผู้เรียนและผู้วิจัยโดยตรง คือการได้รับองค์ความรู้ใหม่ เทคนิควิธีการปฏิบัติแบบใหม่ ทั้งทางการศึกษาทางด้านดนตรี และประวัติความเป็นมาอีกด้วย ถือเป็นการสืบทอดเผยแพร่และพัฒนาทักษะทางด้านการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์สืบไป

วิธีการวิจัย (research methodology**)**

กลุ่มเป้าหมาย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโนนแดงวิทยาคม ตำบลโนนแดง อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 26 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 1 ห้องเรียน ทั้งหมด 25 คน ที่เรียนในรายวิชาศิลปะพื้นฐานสาระดนตรี ไม่มีพื้นฐานด้านการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ มาจากการเลือกแบบเจาะจง

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น

1) กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์โดยใช้ทฤษฎีของโคดาย

ตัวแปรตาม

1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2) ทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์

3) ความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้

การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือวิจัย

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย

- ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
- ออกแบบและสร้างแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์
- นำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แล้วให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของเนื้อหา
- นำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ผ่านการประเมินทดลองใช้กับกลุ่มทดลองแล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขและนำไปใช้เก็บข้อมูล

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์

- สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาแล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมและความสอดคล้องของข้อคำถามกับตัวชี้วัด
- นำแบบทดสอบที่ผ่านการประเมินไปทดลองใช้กับกลุ่มทดลองแล้วนำมาหาค่าความยากและความเที่ยงของแบบทดสอบและปรับปรุงแก้ไขแล้วนำไปใช้เก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมาย

3. แบบทดสอบทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์

- สร้างแบบทดสอบทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาแล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมและความสอดคล้องของข้อคำถามกับตัวชี้วัด
- นำแบบทดสอบที่ผ่านการประเมินไปทดลองใช้กับกลุ่มทดลองแล้วนำมาหาค่าความยากและความเที่ยงของแบบทดสอบและปรับปรุงแก้ไขแล้วนำไปใช้เก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมาย

4. แบบสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์

- ศึกษาการสร้างแบบวัดความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้
- สร้างแบบวัดความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ แล้วนำเสนอที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามและนำไปใช้เก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมาย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

แบบแผนการวิจัย

กลุ่ม	ทดลอง	การทดสอบหลังเรียน (Posttest)
E	X	O

E แทน กลุ่มตัวอย่างโดยเลือกแบบเจาะจง

X แทน การทดลองการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย

O แทน การทดสอบหลังเรียน (Posttest)

1.จัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ตามแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 5 แผน 15 ชั่วโมง ประกอบด้วย

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ขลุ่ยรีคอร์เดอร์

1.2 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง การอ่านโน้ตเพลงและสัญลักษณ์แทนตัวโน้ต

1.3 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง การเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์

1.4 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง บทเพลงสำหรับการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์

1.5 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การใช้และการบำรุงรักษาเครื่องดนตรี

2. ทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และทักษะการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย

2.1 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์จำนวน 30 ข้อ 30 คะแนน

2.2 แบบทดสอบทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์จำนวน 10 ข้อ 30 คะแนน

3. ให้ผู้เรียนทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์จำนวน 10 ข้อ

4. นำคะแนนที่ได้จากการวัดผลสัมฤทธิ์และทักษะทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ และคะแนนความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ ไปวิเคราะห์ข้อมูล และแปรผลต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์และทักษะการปฏิบัติตามทฤษฎีของโคดาย
2. เปรียบเทียบทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยตามทฤษฎีของโคดาย
3. วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์

ผลการวิจัย (Results)

1. การศึกษาการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

คนที่	คะแนนแบบทดสอบย่อย						คะแนนรวม	คะแนนทดสอบหลังเรียน
	10	10	10	10	10	10	แบบทดสอบย่อย (60)	(30)
1	8	10	9	8	8	9	52	25
2	8	10	8	8	9	10	53	27
3	8	8	9	8	7	10	50	27
4	9	9	10	9	10	9	56	25
5	8	9	10	8	10	9	54	27
6	8	9	9	8	9	8	51	27
7	7	8	9	7	9	10	50	28
8	8	9	10	8	9	10	54	27
9	7	9	10	7	8	9	50	25
10	8	10	9	8	9	9	53	27
11	8	8	9	8	7	10	50	25
12	10	10	9	10	9	9	57	27
13	7	8	9	7	9	10	50	25
14	7	8	8	7	7	9	46	27
15	8	9	8	8	7	8	48	28
16	10	9	9	10	8	8	54	27
17	9	8	9	9	7	8	50	26
18	7	8	8	7	9	10	49	25
19	8	8	10	8	8	9	51	27
20	8	9	9	8	10	10	54	25

21	8	8	9	8	9	10	52	26
22	7	9	10	7	8	9	50	27
23	7	9	8	7	10	10	51	25
24	8	10	10	8	9	10	55	28
25	8	7	9	8	10	9	51	27
รวม	199	219	227	199	215	232	1,291	660
	คะแนนเฉลี่ยร้อยละ						86.06	88.00
E_1/E_2 = 86.06 / 88.00								

จากตารางพบว่า ประสิทธิภาพของกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ที่ผู้วิจัยใช้สอนตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ (E_1/E_2) 80/80 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.06 / 88.00 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายกับเกณฑ์ร้อยละ 80 มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ก่อนทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายกับเกณฑ์ร้อยละ 80 ได้ทำการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง ผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย พบว่า ค่า r_{XY} = .291 ค่า sig = .158 ดังนั้น ตัวแปรที่ศึกษาไม่สัมพันธ์กัน ผู้วิจัยจึงแยกทดสอบทีละตัวแปร

2.1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายกับเกณฑ์ร้อยละ 80

จำนวน	**คะแนนเต็ม**	**คะแนนเกณฑ์**	$\bar{X}$	$S.D.$	df	$t.$	$sig.$
25	30	24	26.40	1.08	24	11.11	.00

จากตารางพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

2.2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทักษะการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายกับเกณฑ์ร้อยละ 80

จำนวน	**คะแนนเต็ม**	**คะแนนเกณฑ์**	$\bar{X}$	$S.D.$	df	$t.$	$sig.$
25	30	24	27.60	1.00	24	18.00	.00

จากตารางพบว่า ทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

3. การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดาย มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดาย ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้และแจกแบบสอบถามความพึงพอใจให้กับกลุ่มเป้าหมายได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 โรงเรียนโนนแดงวิทยาคมภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 25 คน ผลการวัดความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดายดังตารางต่อไปนี้

รายการ	$\bar{X}$	$S.D.$	ความพึงพอใจ
1.นักเรียนพึงพอใจในกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์	4.96	0.20	มากที่สุด
2.นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์อย่างมีความสุข	4.92	0.27	มากที่สุด
3.นักเรียนฝึกฝนและพัฒนาความรู้และทักษะด้านการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์	4.88	0.33	มากที่สุด
4.นักเรียนพึงพอใจต่อการฝึกทักษะการเป่าขลุ่ย	4.88	0.33	มากที่สุด
5.นักเรียนพึงพอใจกับทักษะการเป่าขลุ่ยที่นักเรียนปฏิบัติ	4.84	0.37	มากที่สุด
6.นักเรียนมีโอกาสในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนในชั้นเรียน	4.88	0.33	มากที่สุด
7.นักเรียนพึงพอใจต่อกิจกรรมเสริมการเรียนรู้	4.96	0.20	มากที่สุด
8.บรรยากาศในชั้นเรียนผ่อนคลายมีความสุข	4.96	0.20	มากที่สุด
9.นักเรียนชอบและตั้งใจเรียนวิชาดนตรีเรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์	4.84	0.37	มากที่สุด
10.นักเรียนนำความรู้และทักษะที่ได้ไปปฏิบัติได้จริง	5.00	0.00	มากที่สุด
รวม	**49.12**	**2.6**	**มากที่สุด**
ค่าเฉลี่ย	**4.91**	**0.26**	**มากที่สุด**

จากตารางพบว่า หลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโซลตาน โคดาย เสร็จสิ้นลง ผู้วิจัยนำแบบสอบถามความพึงพอใจไปใช้วัดกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 โรงเรียนโนนแดงวิทยาคม จำนวน 25 คน ที่เรียนด้วย กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$) = 4.91 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) = 0.26 หมายความว่า ความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

อภิปรายผล

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ประกอบด้วย เนื้อหา มาตรฐานและตัวชี้วัด สาระสำคัญ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เนื้อหาสาระ กิจกรรมการเรียนรู้ และการวัดผลประเมินผล ซึ่งแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายที่สร้างขึ้น นำมาหาค่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 (E_1/E_2) ได้ค่า E_1 เท่ากับ 86.06 และค่า E_2 เท่ากับ 91.06 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ที่มุ่งให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะด้านการอ่านโน้ตร้องโน้ตและปฏิบัติเครื่องดนตรี ครอบคลุมเนื้อหาสาระที่สอน และผู้เรียนเข้าใจในกิจกรรมการเรียนการสอนง่าย สอดคล้องกับ ฤทธิรงค์ ไชยสุข (2552) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาเทคนิคการสอนและสื่อการสอนขลุ่ยรีคอร์เดอร์สำหรับผู้มีความบกพร่องทางการได้ยิน ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของเทคนิคการสอนและสื่อการสอนขลุ่ยรีคอร์เดอร์สำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยินมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 72.10/ 87.10 ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 พบว่าค่าประสิทธิภาพของเทคนิคการสอนและสื่อการสอนก่อนการทดสอบระหว่างเรียนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานส่วนค่าประสิทธิภาพของเทคนิคการสอนและสื่อการสอนหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สอดคล้องกับวิไลพร ภูมิเขตร์ (2560) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ โดยใช้กระบวนการปฏิบัติประกอบแบบฝึกทักษะ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้ที่ใช้กระบวนการปฏิบัติประกอบแบบฝึกทักษะที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 86.53/85.97

2. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายกับเกณฑ์ร้อยละ 80 พบว่า 2.1) หลังผู้เรียนเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจง่ายไม่ซับซ้อน และผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ในเรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ จนทำให้มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์สูงขึ้น 2.2) ทักษะการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ที่เน้นทางด้านการอ่านโน้ต ร้องโน้ตและปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียนเข้าใจง่าย

ไม่ซับซ้อนในการอ่านโน้ตและการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ จนทำให้ผู้เรียนมีทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ดีขึ้น สอดคล้องกับ เดชาชัย สุจริตจันทร์ (2549) ที่ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดนตรีเรื่องการอ่านโน้ตสากลเบื้องต้นของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนตามวิธีสอนของโคดายกับวิธีสอนปกติ ผลการวิจัยพบว่า 1.) นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนโดยวิธีสอนของโคดาย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2.) นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนโดยวิธีสอนของโคดาย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสอนปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3.) นักเรียนกลุ่มทดลอง ที่เรียนโดยวิธีสอนของโคดาย มีทักษะการอ่านโน้ตสากลเบื้องต้นสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสอนปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 4.) นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนโดยวิธีสอนของโคดาย มีเจตคติต่อการเรียนวิชาดนตรีสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับ พงษ์ลดา ธรรมพิทักษ์กุล (2551) ที่ได้ศึกษาค้นคว้าเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดนตรีสากลขั้นพื้นฐานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยการสอนตามทฤษฎีของโคดาย กับที่เรียนแบบดั้งเดิมโดยใช้เพลงพื้นบ้านท่าโพและเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดทักษะทางด้านดนตรีสากล ด้านการร้องเพลง ด้านการอ่านโน้ต ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดนตรีสากลขั้นพื้นฐานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยการสอนตามทฤษฎีของโคดาย กับที่เรียนแบบดั้งเดิม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ .05 และพบว่านักเรียนที่สอนตามทฤษฎีของโคดาย มีคะแนนทักษะทางด้านการร้องเพลง และทักษะอ่านโน้ตสูงกว่ากลุ่มที่สอนแบบดั้งเดิม ที่ระดับ .05 สอดคล้องกับ วรรณวุฒิ วรรณารุณ (2553) ที่ได้ทำศึกษาเรื่อง ผลของการใช้กิจกรรมดนตรีตามทฤษฎีของโคดาย ที่มีต่อ ทักษะทางดนตรีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดทรงธรรม อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ผลการศึกษาพบว่า 1). นักเรียนมีทักษะทางดนตรีมากขึ้น หลังจากไดรับการใช้กิจกรรมดนตรีตามทฤษฎีของโคดายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 2). นักเรียนที่ไดรับการใช้กิจกรรมดนตรีตามทฤษฎีของโคดาย มีทักษะทางดนตรีมากขึ้นกว่านักเรียนที่ไดรับการให้ข้อสนเทศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3. ความพึงพอใจของนักเรียนต่อกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดาย พบว่าหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโคดาย โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$) = 4.91 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) = 0.26 ซึ่งอาจเป็นเพราะนักเรียนชอบวิธีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้ทฤษฎีของโซลตาน โคดาย ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผู้เรียนได้ฝึกและปฏิบัติตามได้จริงในชั้นเรียนและนอกห้องเรียน พร้อมยังทำให้ผู้เรียนได้ฝึกแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนในชั้นเรียนในการจับคู่ฝึกซ้อม แบ่งกลุ่มฝึกซ้อม จนทำให้นักเรียนสามารถเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ได้ตามวัตถุประสงค์ ผู้เรียนจึงมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับ กาญจนา อรุญสุขรุจี (2549) กล่าวว่า ความพึงพอใจของมนุษย์เป็นการแสดงออกทางพฤติกรรมที่เป็นนามธรรม การที่เราจะทราบว่าบุคคลมีความพึงพอใจหรือไม่ สามารถสังเกตโดยการแสดงออกที่ข้อนข้างสลับซับซ้อน และต้องมีสิ่งเร้าจึงเป็นแรงจูงใจของบุคคลจึงจะทำให้เกิดความพึงพอใจ ดังนั้นการสร้างสิ่งเร้าจึงเป็นแรงจูงใจของบุคคลให้เกิดความพึงพอใจในงานนั้น สอดคล้องกับ เจษฎา ประทุมมา (2559) กล่าวว่า การศึกษาจะมีความสัมพันธ์กับความพึงพอใจที่ดีต่อการเรียนต้องมีการสร้างความพึงพอใจในการเรียนตั้งแต่เริ่มต้นให้แก่ผู้เรียนซึ่งดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ ความพึงพอใจเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนทำงานที่ได้รับมอบหมายหรือการปฏิบัติให้บรรลุตามวัตถุประสงค์

ดังนั้น กระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ดี จะต้องมีสื่อการเรียนการสอนที่ดีและมีการสร้างแรงจูงใจให้กับนักเรียน หากการเลือกใช้สื่อและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เป็นไปในทางที่เหมาะ นักเรียนจะเกิดพัฒนาการทางการเรียนรู้ความเข้าใจ และบรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ของกิจกรรมการเรียนรู้ได้ ก็จะทำให้เกิด ความรู้ ทักษะ และความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีข้อเสนอแนะสำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโซลตาน โคดาย ดังต่อไปนี้

1.1 ครูผู้สอนจะต้องศึกษาลำดับขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโซลตาน โคดาย อย่างละเอียดตามลำดับขั้นตอนก่อนนำไปใช้

1.2 ครูผู้สอนจะต้องแนะนำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทหน้าที่ของผู้เรียนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย ทุกขั้นตอนอย่าละเอียด เพื่อให้นักเรียนปฏิบัติได้ถูกต้องเป็นไปตามเวลาที่กำหนดและเกิดประสิทธิภาพในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

1.3 ครูผู้สอนจะต้องศึกษาเกณฑ์การวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ที่ใช้เป็นแบบประเมินให้มีความเข้าใจ เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ประเมินวัดผลสัมฤทธิ์และทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ของผู้เรียนได้อย่างถูกต้อง

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ผลการวิจัยพบว่ากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดาย มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.06 / 88.00 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ดังนั้น ควรมีการนำทฤษฎีของโซลตาน โคดาย ไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้กับเครื่องดนตรีชนิดอื่นๆ เช่น ดนตรีไทย ดนตรีพื้นเมือง

2.2 ผลการวิจัยพบว่าทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์หลังเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ตามทฤษฎีของโคดายสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ดังนั้น ควรมีการศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามทฤษฎีของโซลตาน โคดาย เปรียบเทียบกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยคำแนะนำช่วยเหลือจากอาจารย์และกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์โดยได้รับคำแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล วรคำ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์จารย์ ดร. พงศ์ธร โพธิ์พูลศักดิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.อาทิตย์ อาจหาญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.อรัญ ชุยกระเดื่อง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งอาจารย์แต่ละท่านคอยแนะนำเรื่องต่าง ๆ ในงานวิทยานิพนธ์ อ่านและตรวจข้อบกพร่องในงานวิทยานิพนธ์ ให้ข้อเสนอแนะ และข้อคิดในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จลุล่วง ผู้วิจัยจึงมีความรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สยาม จวงประโคน อาจารย์ประจำสาขาดุริยางคศิลป์ตะวันตก วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพศาล เอกะกุล อาจารย์ประจำสาขาวิจัยและประเมินผลการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต บุญทองเถิง อาจารย์ประจำสาขาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม นายกานนท์ เวชกามา อาจารย์ประจำสาขา ดุริยางคศิลป์ตะวันตก วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และนายอรรคพงศ์ ภูลายยาว อาจารย์ประจำสาขาดุริยางคศิลป์ตะวันตก วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และให้คำปรึกษา แนะนำข้อบกพร่องที่ผิดพลาด และเสนอแนะแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ ที่เรียนสาขาวิจัยและประเมินผลการศึกษา (แผนวิชาชีพครู) ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำปรึกษาและข้อเสนอแนะแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิจัยและประเมินผลการศึกษาทุกท่าน ขอขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนโนนแดงวิทยาคม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 26 ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการทดลองใช้เครื่องมือเพื่อการหาประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิทยานิพนธ์ และเก็บรวบรวมข้อมูลมาใช้ดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงในครั้งนี้

อ้างอิง(References)

กระทรวงศึกษาธิการ. (2546). *พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่2) พุทธศักราช 2545.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรไทย.

_____. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุม สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.

_____. (2553*). พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2553.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

กรรณิกา โสมชัย.(2551) *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจต่อการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโจทย์ปัญหาการบวกเศษส่วนโดยใช้วิธีสอนแบบแก้ปัญหากับวิธีสอนแบบปกติ*.วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพศตรี.

เครือวัลย์ สุขเจริญ.(2551). การสอนดนตรีสากล. กรุงเทพฯ : พีระพัธนา.

จรัญ กาญจนประดิษฐ์. (2554). *การศึกษาพัฒนาการทักษะการเป่า ขลุ่ยเพียงออโดยใช้รูปแบบการสอนทักษะปฏิบัติของเดวีส์ (Davies'Instruction Model for Psychomotor Domain) และสอดแทรกคุณธรรมด้านความเพียรของนักศึกษาที่เรียนรายวิชา 864382ทักษะดนตรีไทย 2.* วารสารศิลปกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ฉบับที่ 2.

โซลตาน โคดาย. (Zoltan Kodaly. 1882-1967). ทฤษฎีของโคดาย.

ณรุทธ์ สุทธจิตต์.(2536) *พฤติกรรมการสอนดนตรี.* กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

ณัฐสินี ภานาศานต์. (2553). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจจากการเรียนการสอนออนไลน์ในเวลาเดียวกัน วิชาพื้นฐานศิลปะ เรื่องทักษะการบรรเลงดนตรี ประเภทขลุ่ยรีคอร์เดอร์.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ดวงกมล ฉัตรบุญลือเดช. (2551). *ขลุ่ยรีคอร์เดอร์เบื้องต้น.* กรุงเทพฯ : เอ็มไอเอส.

ดำรงศักดิ์ ทับทิมโต.(2542) *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนทักษะปฏิบัติขลุ่ยรีคอร์เดอร์และทฤษฎีโน้ตสากลในรายวิชาศิลปะกับชีวิต 4 (ศ 204) โดยใช้วิธีการสอนแบบศูนย์การเรียนกับการสอนแบบปกติ.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหิดล.

ธวัชชัย นาควงษ์. (2547). *การสอนดนตรีสำหรับเด็กตามแนวของโคดาย/ธวัชชัย นาควงษ์.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2.

นิศาชล บังคม. (2553*). การพัฒนาแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้านโสตทักษะตามแนวคิดโคดายสำหรับนักเรียนเปียโนระดับชั้นต้น.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เหนือดวง พูลเพิ่ม. (2560). *การจัดการเรียนรู้วิชาดนตรี ตามแนวคิดของซูซูกิร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือ เพื่อพัฒนาทักษะการขับร้องและความสามารถในการทำงานเป็นทีมสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5.* วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัยวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

ไพโรจน์ มักสัมพันธุ์. (2553). *การสร้างชุดการสอนการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ สุวินทวงศ์.* บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.

พัชรี สุวรรณธาดา.(2556) *เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนรู้โดยการใช้โปรแกรมดนตรีสำเร็จรูปในการสอน วิชาดนตรีปฏิบัติ (เครื่องเป่า) โรงเรียนพลวิทยา อำเภอหาดใหญ่จังหวัดสงขลา.* วารสารวิทยบริการ.ฉบับที่ 24.

ไพศาล วรคำ. (2559). *การวิจัยทางการศึกษา.* ตักสิลาการพิมพ์

มารียา ปัณณะกิจการ. (2556). *การพัฒนาแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการอ่านโน้ตตามแนวคิดโคดายสำหรับผู้เรียนเปียวัยผู้ใหญ่ตอนต้น.* บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฤทธิรงค์ ไชยสุข. (2552*) การพัฒนาเทคนิคการสอนและสื่อการสอนขลุ่ยรีคอร์เดอร์สำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ.

วิภารัตน์ คู่คิด. (2555*). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะทางดนตรี เรื่องการบรรเลงดนตรีไทยเบื้องต้น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของโซลตาน โคดาย และแนวคิดของชินอิชิ ซูซูกิ.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

วิภาวรรณ จำเนียรพันธุ์. (2553). *วิเคราะห์แบบเรียนวิชาดนตรีของโรงเรียนประถมดนตรีโคดาย ประเทศฮังการี.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

วรรณวุฒิ วรรณารุณ. (2553*). ผลของการใช้กิจกรรมดนตรีตามแนวคิดของโคไดที่มีตอทักษะทางดนตรีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปที่ 6 โรงเรียนวัดทรงธรรมอำเภอพระประแดงจังหวัดสมุทรปราการ.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วีรวรรณ จำเนียรพันธุ์. (2553*) วิเคราะห์แบบเรียนวิชาดนตรีของโรงเรียนประถมดนตรีโคดายประเทศฮังการี.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศุภชัย ดาวสมบูรณ์. (2547). *การพัฒนาชุดการสอนการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย ราชภัฏนครสวรรค์.

สมนึก ภัททิยธนี. (2544*). การวัดผลการศึกษา/สมนึก ภัททิยธนี.* กรุงเทพฯ ประสานการพิมพ์.

เสกสรร พรมไชยา. (2548). *การเปรียบเทียบทักษะทางดนตรีและผลสัมฤทธิ์วิชาดนตรีของนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ระหว่างการจัดการเรียนการสอนดนตรีตามแบบของโซลตาน โคดายและคารล ออรฟ กับการจัดการเรียนการสอนแบบพื้นฐาน.* วิทยานิพนธ์ ปริญญาการศึกษา มหาบัณฑิต สาขาการวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สุธาสินี ถีระพันธ์. (2558). *การศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนขับร้องของนักเรียนชั้นประถมปีที่ 6 ระหว่างกลุ่มที่ใช้วิธีสอนซึ่งปรับปรุงจากวิธีสอนดนตรีแบบโคดาย กับกลุ่มที่ใช้วิธีสอนปกติ โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 50 จังหวัดขอนแก่น.* วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

หลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนโนนแดงวิทยาคม. (2561). *หลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนโนนแดงวิทยาคม.2561.* โรงเรียนโนนแดงวิทยาคม สพม.26.

อุทัย เพชรช่วย. (2551). *การเปรียบเทียบผลการเรียนของโปรแกรมบทเรียนแบบทักษะปฏิบัติและการเรียนปกติ เรื่องโน้ตดนตรีสากลเบื้องต้น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.* วิทยานิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อุทิศ นาคสวัสดิ์. (2551*). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาทฤษฎีดนตรีสากล 1 ของนักศึกษาวิชาเอกดนตรีศึกษาระหว่างการสอนเสริมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์กับ การสอนปกติ.* วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อรนุชา อัฏฐะวัชระ. (2547). *การเปรียบเทียบทักษะการเป่าขลุ่ยรีคอร์เดอร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยฝ่ายประถม ระหว่างกลุ่มที่สอนโดยวิธีการผสมผสาน การอ่านโน้ตและการร้องโน้ตกับกลุ่มที่สอนโดยวิธีการอ่านโน้ตและวิธีการร้องโน้ต.* วิทยานิพนธ์ ครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Bonner. (2008). *Response to Music : Principles of music Education.* London : Routledg and Kegal Payl.

Dann. (2004*). Educational and Psychological Measurement.* New York : McGraw-Hill.

Kim. (2006). *Response to Music : Principles of music Education*. London : Routledg and Kegal Payl.

Kodaly, Zoltan. (1974). *The Selected Writhing of Zoltan Kodaly*. Budapest: Corvine. Lind, N.D. (1971). The Story of Human Emotion.

Madsen. (2010). Educational Media : A Competency-based Approach. Ohio : Charles E. Mexcrill.

New York: Ronald Press. Longman. (1998). *Working with Music*. New York: Bantam Book.

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง หน่วยของสิ่งมีชีวิต ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนปรือใหญ่วิทยบัลลังก์ โดยใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

จุลลดา ทำประเสริฐ[1] และ อรัญญา พิมพ์มงคล[2*]
[1]หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[*]E-mail: arunya.p@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์เรื่อง หน่วยของสิ่งมีชีวิตของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 34 คน ของโรงเรียนปรือใหญ่วิทยบัลลังก์ โดยใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เครื่องมือในการวิจัยวิธีวิจัย คือ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 25 ข้อ แผนการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E เวลาในการจัดกิจกรรม 100 นาที เก็บข้อมูลจากแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน แบบบันทึกกิจกรรม วิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียน ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้ ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนคิดเป็นร้อยละ 79.53 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 8.71 และ 11.85 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียน พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนคิดเป็นร้อยละ 68.11 ($\langle g \rangle = 0.6811$) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับปานกลาง ค่าประสิทธิภาพ (E_1/E_2) และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 84.73/81.87 และ 0.6811 ตามลำดับ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐานโดยใช้ค่าสถิติ t-test

คำสำคัญ : ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ หน่วยของสิ่งมีชีวิต วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

The Development of Science's Learning Achievement in The Topic Unit For Grade 7 at Prueyaiwittayabanlang School Using 5E Inquiry Cycle and Model-Based Learning

Junlada Thamprasert[1] and Aranya Pimmongkol[2*]
[1]Master Degree of Science (Science Education), Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
[2]Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University 3
[*]E-mail: arunya.p@ubu.ac.th

Abstract

The main purpose of this research was to compare Science' learning achievement in the topic unit of life of 34 of grade 7 students using 5E inquiry cycle and model-based learning. Research methodology composed of developing achievements test which was 4 multiple choices test of 25 items, developing a 100-minutes 5E inquiry-based activity, Data were collected from pre- and post- achievements test, activity record form, Pre- and post-achievements, learning progression ($\langle g \rangle$), efficiency, and effectiveness of learning activity were analyzed. The results showed that post- achievements better than pre-achievements, which indicated a statistically significant increasing ($p < .05$), Average Post-test score was 79.53 %, Pre- and post- standard deviation (S.D.) was 8.71 % and 11.85% , respectively. Pre- and post-test score Comparison, The results showed post- test score better than pre- test score, which indicated a statistically significant increasing ($p < .05$), The students' learning

progression was 68.78% (<g> = 0.6811), categorized as a medium gain level. The efficiency (E_1/E_2) and effectiveness (E.I.) of the activity were 84.73/81.87 and 0.6811, respectively. The statistics used for analyzing the collected data were percentage, mean, and standard deviation, efficiency (E_1/E_2E), effectiveness (E.I.) and the hypothesis was tested by using dependent samples t-test.

Keywords: Achievement Science, Unit of Life, 5E Inquiry Cycle, Model-Based Learning

บทนำ

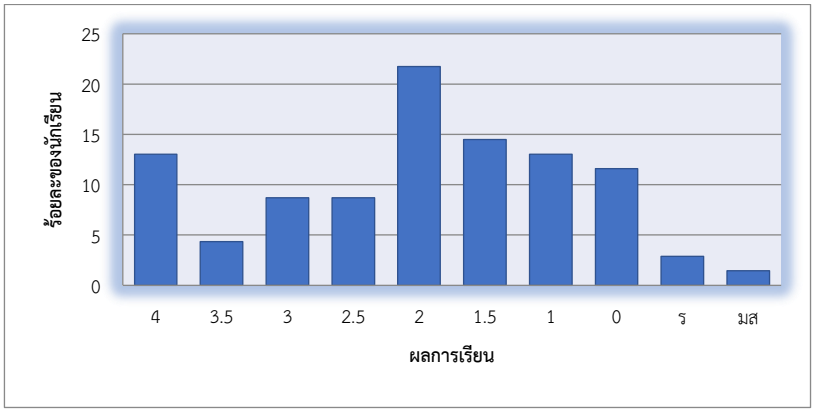
หน่วยของสิ่งมีชีวิต จัดอยู่ในมาตรฐาน ว 1.2 สาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าเนื้อหาส่วนใหญ่เกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ เซลล์เป็นสิ่งที่มีขนาดเล็กและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เป็นเรื่องที่เป็นนามธรรมทำให้นักเรียนเข้าใจยาก ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์รายวิชาวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ (ภาพที่ 1) เนื่องมาจากโครงสร้างภายในเซลล์ประกอบด้วยออร์แกเนลล์ต่างๆ มากมาย ออร์แกเนลล์มีโครงสร้างขนาดเล็กและหน้าที่แตกต่างกัน จากประสบการณ์การสอนและศึกษาวิจัยพบว่า นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนในหลายแนวคิดย่อย อาทิ นักเรียนเข้าใจว่าเซลล์พืชและเซลล์สัตว์มีมีออร์แกเนล์เหมือนกัน (Clement, 2007) นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องเซลล์และโครงสร้างของเซลล์โดยเฉพาะแนวคิดเรื่องโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์และหน้าที่ของนิวเคลียส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะธรรมชาติของเนื้อหาที่มีความซับซ้อนเป็นนามธรรม จึงทำให้ยากต่อการทำความเข้าใจ (สุทธิจักร ศรีถนอมรัก, 2548) ซึ่งหน่วยของสิ่งมีชีวิตเป็นเรื่องสำคัญของการเรียนวิทยาศาสตร์ และชีววิทยาระดับสูงขึ้นไป เพราะเป็นพื้นฐานในเรื่องต่างๆ เช่น พันธุกรรม ระบบต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ โครงสร้างและหน้าที่ของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การรับรู้และการตอบสนองและการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต

National Research Council (2000) กล่าวว่า วิทยาศาสตร์เป็นการสืบเสาะหาความรู้ (science as inquiry) มนุษย์ได้พัฒนาองค์ความรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์จะแตกต่างไปจากการสืบเสาะหาความรู้ในศาสตร์อื่นๆ เนื่องจากต้องมีคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการ ได้แก่ 1) การตั้งใจจดจ่อกับคำถามทางวิทยาศาสตร์ 2) การให้ความสำคัญกับหลักฐานที่สอดคล้องกับคำถามทางวิทยาศาสตร์ 3) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ 4) การเชื่อมโยงคำอธิบายกับองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และ 5) การสื่อสารและแสดงเหตุผลคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และสืบเนื่องจากการที่วิทยาศาสตร์เป็นการสืบเสาะหาความรู้ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงต้องเน้นการสืบเสาะหาความรู้ และจะต้องออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นคุณลักษณะสำคัญทั้ง 5 ประการของการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แนวทางเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิตนั้น ครูควรตระหนักถึงการสำรวจความรู้เดิมของผู้เรียน และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ช่วยให้ผู้เรียนได้แสวงหาความรู้และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง มีการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ ซึ่งจะช่วยให้เกิดความรู้ที่คงทนและมีความหมาย (จิตติมา ดมหอม, 2553) การเรียนสิ่งเล็กๆ ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและไม่สามารถจับต้องได้นั้น จำเป็นต้องอาศัยการจัดทำแบบจำลอง ตามหลักของธรรมชาติของแบบจำลองนั้น แบบจำลองถือว่าเป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของสิ่งอื่นๆ ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จึงไม่ใช่ของจริง (artificial) แต่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของแนวคิดหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเท่านั้น ดังนั้นการใช้แบบจำลองจึงต้องมีการตีความหมาย (interpret) เพื่อทำความเข้าใจในสิ่งที่เป็นเป้าหมายที่ต้องการศึกษา (Gilbert and Ireton, 2003) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จึงจัดเป็นส่วนหนึ่งขององค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ถ้าหากนักเรียนเข้าใจว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์คืออะไร ได้มาอย่างไรและมีขอบเขตและข้อจำกัดอย่างไรบ้าง ก็จะทำให้นักเรียนเข้าใจลักษณะของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์ (Lederman et al., 2002) การศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ภายในเซลล์ ซึ่งเป็นเป็นลักษณะในระดับจุลภาค การใช้แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้น เช่น การอธิบายโครงสร้างของดีเอ็นเอ โดยใช้การบรรยายอาจทำให้ยากต่อการเข้าใจและไม่สามารถนึกภาพได้ชัดเจน จึงเกิดแบบจำลอง Watson and Crick ที่ใช้อธิบายโครงสร้างของดีเอ็นเอ ที่ทำให้เข้าใจได้ง่ายมากขึ้น หรือการใช้แบบจำลองอะตอมที่อธิบายลักษณะโครงสร้างของอะตอมให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น (Justi and Gilbert, 2002)

การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิต เนื้อหาที่เรียนจะเกี่ยวกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต การค้นพบหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ส่วนประกอบและหน้าที่สำคัญของเซลล์ เซลล์พืชและเซลล์สัตว์ สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ เซลล์มีขนาดเล็กมีความละเอียดและซับซ้อน การสอนแบบบรรยายทำให้นักเรียนเข้าใจได้ยาก เพราะวิธีการสอนไม่ได้เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ มุ่งสอนแต่เนื้อหาความรู้อย่างเดียวทำให้นักเรียนไม่เข้าใจ เบื่อหน่าย ไม่อยากเรียน นักเรียนไม่มีส่วนร่วม การจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E เป็นการสอนที่กระตุ้นให้นักเรียนทำการสืบเสาะค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง

สามารถคิดอย่างมีเหตุผล และฝึกให้นักเรียนแก้ปัญหาด้วยตนเองรวมทั้งการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ และมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (พรทิวา ทองปน, 2556; ลลิตา เอียดนุสรณ์, 2553; สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2551) การเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ประกอบด้วย 5 ขั้น ได้แก่ (1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) (2) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) (3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) (4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และ (5) ขั้นประเมินผล (Evaluation) ซึ่งเป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ตลอดเวลา ให้โอกาสแก่ผู้เรียนได้ฝึกคิด ฝึกสังเกต ฝึกนำเสนอ ฝึกวิเคราะห์วิจารณ์ ฝึกสร้างองค์ความรู้ โดยมีครูเป็นผู้กำกับควบคุมดำเนินการให้คำปรึกษาชี้แนะ ช่วยเหลือให้กำลังใจ เป็นผู้กระตุ้น ส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดและเรียนรู้ด้วยตนเอง รวมทั้งร่วมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2549) ในการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้แบบการวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E พบว่าทำให้นักเรียนเกิดการพัฒนาด้านต่างๆ เช่น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น (ระเบียบ อนันตพงศ์, 2550) สอดคล้องกับ วรรณา อู่ไพจิตร (2557) ที่ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยใช้วัฏจักรการเรียนรู้ 5E สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัยทางสถิติที่ระดับ 0.05

ด้วยผลสำเร็จอันเป็นที่ประจักษ์ในการส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนแบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ผู้วิจัยจึงนำแนวทางดังกล่าวมาร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิต ในบทความฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ผลของการใช้กิจกรรมร่วมกับแบบจำลองเป็นฐานที่ส่งผลต่อการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตลอดจนประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งจะเป็นตัวอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อครูในการนำไปปรับให้เกิดการเรียนที่มีประสิทธิภาพ และบรรลุจุดมุ่งหมายของการจัดการเรียนรู้ในลำดับต่อไป



ภาพที่ 1 ระดับผลการเรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2560 โรงเรียนปรือใหญ่วิทยบัลลังก์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิตด้วยการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิต ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตของการวิจัย

1.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย คือ โรงเรียนปรือใหญ่วิทยบัลลังก์ อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ

1.2 กลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 34 คน

3. รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นกึ่งทดลอง ใช้รูปแบบวิจัยเป็นกลุ่มตัวอย่างเดียว มีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One-group pretest and posttest design)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 25 ข้อ

3.2 แผนการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E เวลาในการจัดกิจกรรม 100 นาที

4. ขั้นตอนการวิจัย

1) พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิต โดยจัดรูปแบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E มีขั้นตอนของการจัดกิจกรรม ดังนี้ 1) ขั้นการสร้างความสนใจ 2) ขั้นการสำรวจและค้นหา 3) ขั้นการอธิบายและลงข้อสรุป 4) ขั้นการขยายความรู้ และ 5) ขั้นการประเมินผล เวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรม 2 คาบ (ประมาณ 100 นาที) จากนั้นประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะจนได้แผนการจัดการเรียนรู้ที่มีค่า IOC เท่ากับ 1.0 กิจกรรมการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้างความสนใจ (5 นาที)

1.1. ครูนำสไลด์ของเซลล์เยื่อหอมมาให้นักเรียนศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์ จากนั้นให้นักเรียนวาดภาพที่นักเรียนมองเห็น ว่ามีอะไรบ้าง

1.2. ครูตั้งคำถาม

- ในภาพนั้นประกอบด้วยสิ่งใดบ้าง (ช่องเล็ก ๆ มากมาย)
- ส่วนประกอบที่เล็กที่สุด ของคนหรือสิ่งมีชีวิตคืออะไร (เซลล์)
- นักเรียนคิดว่าภายในเซลล์จะมีอะไรอยู่ข้างในหรือไม่ (มี)
- โครงสร้างที่อยู่ภายในเซลล์ เราเรียกว่าอะไร (ออร์แกแนลล์)

ขั้นที่ 2 การสำรวจและค้นหา (50 นาที)

2.1 นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 6 กลุ่มๆ ละ 5-6 คน

2.2 สมาชิกในกลุ่มแต่ละคนรับผิดชอบในการสืบค้นข้อมูลออร์แกเนลล์ ภายในเซลล์คนละ 2 ออร์แกเนลล์ และหาคำตอบในประเด็นปัญหาที่ครูมอบหมายให้ คำถามมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ชื่อของออร์แกแนล ส่วนที่ 2 โครงสร้างและหน้าที่ของออร์แกเนลล์

2.3 สมาชิกในกลุ่มแยกย้ายไปรวมกับสมาชิกกลุ่มอื่นซึ่งได้รับเนื้อหาเดียวกัน และร่วมกันทำความเข้าใจในเนื้อหาสาระนั้นอย่างละเอียด โดยร่วมกันจัดทำแผนผังความคิด (concept map) เพื่อสรุปสาระสำคัญ ลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.1

2.4 เมื่อครบเวลาที่กำหนดสมาชิกกลับมายังกลุ่มเดิม โดยนำแผนผังความคิดมาอธิบายให้เพื่อนในกลุ่มฟัง สมาชิกทุกคนจะได้เรียนรู้ภาพรวมของออร์แกเนลล์ทั้งหมด และแต่ละกลุ่มบันทึกข้อมูลทั้งหมดลงในแบบบันทึกกิจกรรมที่ 1.2

2.5 นักเรียนแต่ละกลุ่มเล่นเกมบัตรภาพเกี่ยวออร์แกเนลล์และโครงสร้างและหน้าที่ของออร์แกเนลล์ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยภาพของ ไมโทคอนเดรีย คลอโรพลาสต์ ไรโบโซม กอลิคอมเพลกซ์ เซนทริโอล แวคิวโอล โดยให้แต่กลุ่มออกมาติดชื่อของออร์แกเนลล์ บนกระดาษ ในเวลา 3 นาที

2.6 นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสร้างแบบจำลองโครงสร้างของเซลล์ โดยแต่ละกลุ่มเตรียมผักชนิดต่างๆ ดังนี้ ถั่วฝักยาว พริก แตงกวา มะเขือเทศ ปลาเส้น หอมแดง ถั่วเหลือง ขนมต่างๆ ตามที่นักเรียนสนใจ

ขั้นที่ 3 การอธิบายและลงข้อสรุป (15 นาที)

3.1 นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอแบบจำลองโครงสร้างของเซลล์ โดยอธิบายหน้าที่ของออร์แกแนลแต่ละตัว

3.2 นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ และเฉลยคำถามในใบกิจกรรมที่ 1.1 และ ใบกิจกรรมที่ 1.2

ขั้นที่ 4 การขยายความรู้ (15 นาที)

4.1 นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบ ออร์แกเนลล์ต่างภายในเซลล์ จากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น (เช่น จากใบไม้ต่างๆ ที่มีรูปร่างคล้ายออร์แกเนลล์นั้นๆ หรือจาก ผัก ผลไม้ต่างๆ หรือจากสิ่งของต่างๆ ฯลฯ)

4.2 นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่นักเรียนสนใจ และเขียนลงในสมุด

ขั้นที่ 5 การประเมิน (15 นาที)

5.1 นักเรียนเล่นเกมตารางปริศนาจำนวน 7 ข้อ เรื่อง โครงสร้างและออร์แกเนลล์ของเซลล์

5.2 นักเรียนแบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 5 ข้อ

5.3 ครูเฉลยเกมตารางปริศนาจำนวน 7 ข้อ และ แบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 5 ข้อ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียน ระหว่างเรียน หลังเรียน หาค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. วิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน แบ่งผลการเรียนออกเป็น 8 ระดับ ดีเยี่ยม (80-100) ดีมาก (75-79) ดี (70-74) ค่อนข้างดี (65-69) น่าพอใจ (60-64) พอใช้ (55-59) ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (50-54) ต่ำกว่าเกณฑ์ (0-49)

3. เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (*t*-test for dependent sample)

4. วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนโดยหาค่าดัชนีความก้าวหน้า (normalized gain; <g>) และแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มตามความก้าวหน้าทางการเรียน (อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ, 2550)

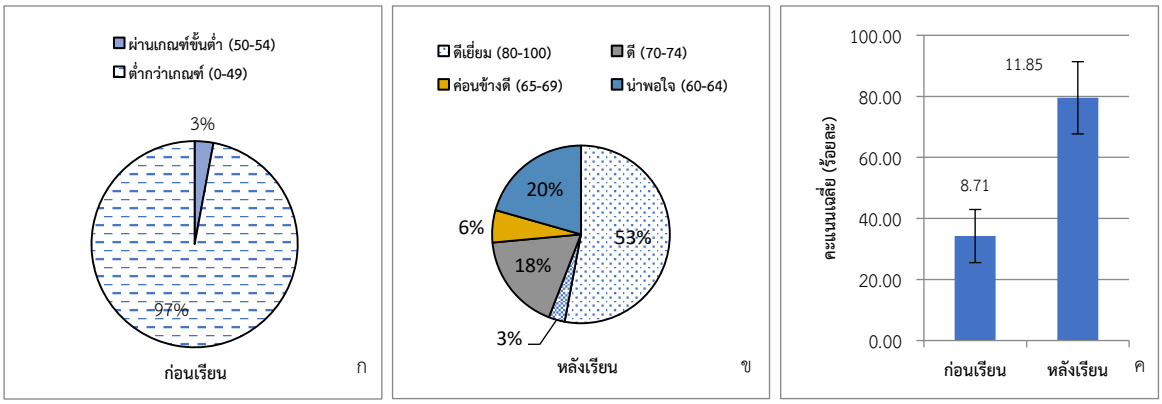
5. หาค่าประสิทธิภาพของกระบวนการและค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_1/E_2) จากคะแนนระหว่างเรียนและคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 75/75

6. หาค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) จากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน เทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 0.5

ผลการวิจัย

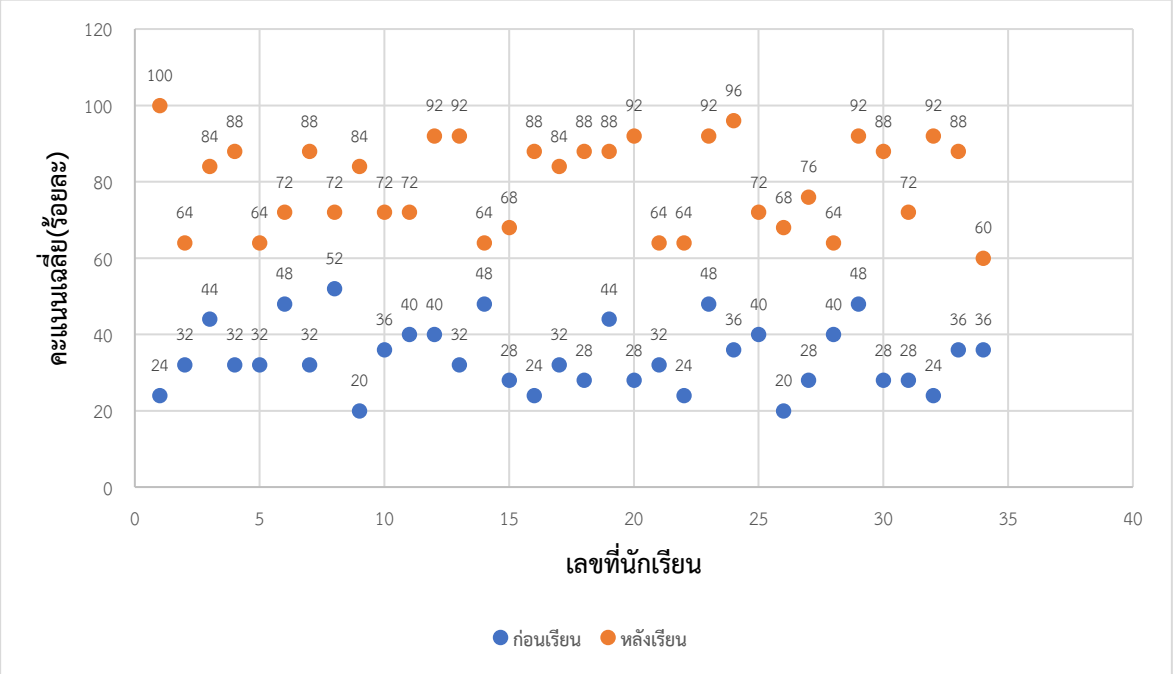
1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

การวิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนของนักเรียน พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 34.24 อยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ มีร้อยละของนักเรียนที่ได้คะแนนอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำจำนวนร้อยละ 97 (ภาพที่ 2ก) เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางในงานวิจัยนี้และมีการทดสอบหลังเรียน พบว่าคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 79.53 อยู่ในระดับดีมาก โดยมีนักเรียนที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับดีเยี่ยม 18 คน ระดับดีมาก 1 คน ระดับดี 6 คน ระดับค่อนข้างดี 2 คน และระดับน่าพอใจ 7 คน (ภาพที่ 2ข) และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า นักเรียนได้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 8.71 และ 11.85 คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ (ภาพที่ 2ค) สรุปได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วัฏจักรสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่พัฒนาขึ้น สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจากที่ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำไปอยู่ในระดับดีมากได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 2 ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก) ก่อนเรียน ข) หลังเรียน ค) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน (error bar=S.D.)

เมื่อพิจารณานักเรียนรายบุคคลพบว่า คะแนนสอบก่อนเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนเลขที่ 8 อยู่ในเกณฑ์อ่อนมาก สามารถยกระดับไปอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม 1 คน (ภาพที่ 3)



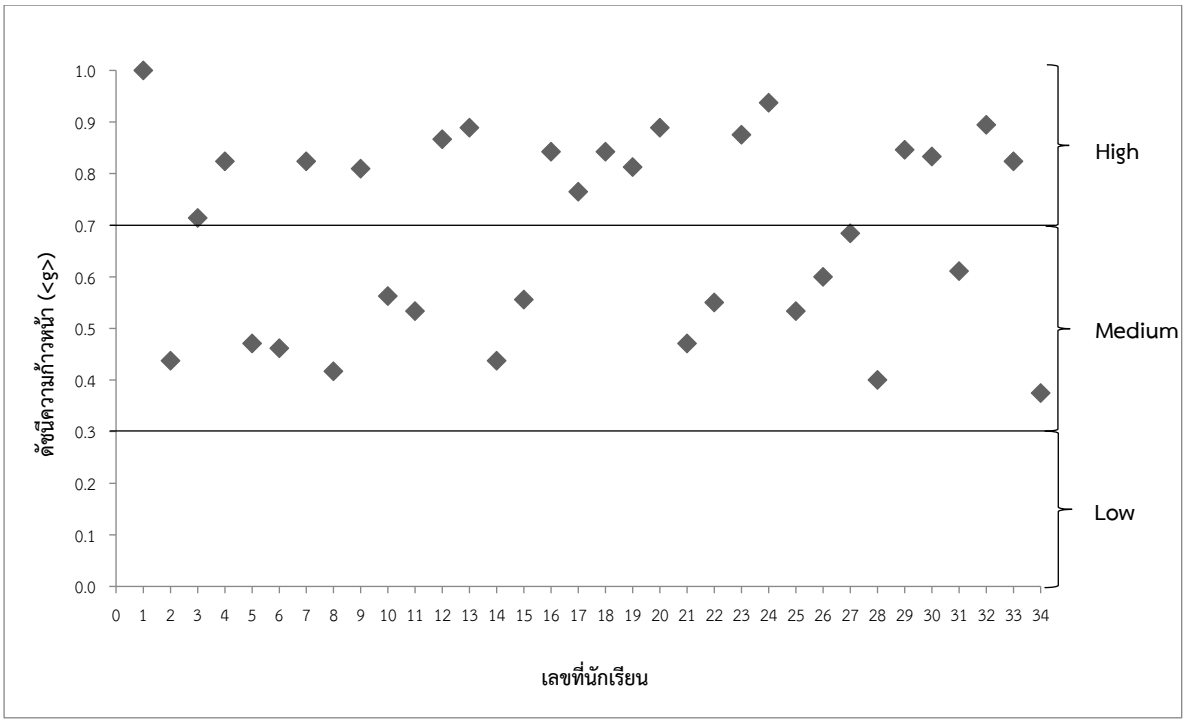
ภาพที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนรายบุคคล

2. ประสิทธิภาพของและประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้ (E_1/E_2 และ E.I.)

จากการวิเคราะห์คะแนนแบบบันทึกกิจกรรมและการทดสอบย่อยซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และคะแนนสอบหลังเรียนซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) และพบว่าค่า E_1/E_2 เท่ากับ 84.73/81.87 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (75/75) และจากข้อมูลดัชนีความก้าวหน้าทางการเรียนทำให้สรุปได้ว่ากิจกรรมที่พัฒนาขึ้นมีค่า E.I. เท่ากับ 0.6811 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5)

3. ความก้าวหน้าทางการเรียน

เมื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าของนักเรียนทั้งชั้นพบว่า จัดอยู่ในระดับปานกลาง (medium gain) โดยค่า <g> เท่ากับ 0.6811 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5) แสดงว่ากิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้าทางการเรียน เฉลี่ยถึงร้อยละ 79.53 ทั้งนี้มีนักเรียนจำนวนร้อยละ 52.95 และร้อยละ 47.05 มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูงและปานกลางตามลำดับ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ดัชนีความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนรายบุคคล

3. ประสิทธิภาพของและประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้ (E_1/E_2 และ E.I.)

จากการวิเคราะห์คะแนนแบบบันทึกกิจกรรมและการทดสอบย่อยซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และคะแนนสอบหลังเรียนซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) และพบว่าค่า E_1/E_2 เท่ากับ 84.73/81.87 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (75/75) และจากข้อมูลดัชนีความก้าวหน้าทางการเรียนทำให้สรุปได้ว่ากิจกรรมที่พัฒนาขึ้นมีค่า E.I. เท่ากับ 0.6811 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง หน่วยของสิ่งมีชีวิต ใช้เวลาจัดกิจกรรม 100 ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 34 คน ของโรงเรียนปรือใหญ่วิทยบัลลังก์ ผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้และลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองผ่านกิจกรรมทั้ง 5 ขั้นตอนที่ครูจัดเตรียมไว้ ได้แก่ ขั้นที่ 1 การสร้างความสนใจ ขั้นที่ 2 การสำรวจและค้นหา ขั้นที่ 3 การอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นตอนที่ 4 การขยายความรู้ และขั้นตอนที่ 5 การประเมินผล ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้พบว่า นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดีมาก (79.53%) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียน พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนคิดเป็นร้อยละ 68.11 ($\langle g \rangle$ = 0.6811) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับปานกลาง ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5) ค่าประสิทธิภาพ (E_1/E_2) และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 84.73/81.87 และ 0.6811 ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (75/75)

2. อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง หน่วยของสิ่งมีชีวิต ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนปรือใหญ่วิทยบัลลังก์ โดยใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีข้อสรุปที่จะนำมาอภิปรายดังนี้

1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนของนักเรียน เรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิต โดยใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ นักเรียนมีการตรวจสอบความรู้ด้วยตนเอง เป็นการลงมือปฏิบัติ มีการวาดภาพมีการสร้างแบบจำลอง และทำการตรวจสอบความถูกต้อง นักเรียนพบความรู้ด้วยตนเองทำให้นักเรียนสามารถอธิบายได้ และมีความเข้าใจในเรื่องนี้ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Llewellyn (Llewellyn, 2002 อ้างใน ปิยะณัฐ นันทนาการ, 2551) และ

การทำกิจกรรมโดยใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ผู้เรียนได้ได้เรียนรู้อย่างเป็นระบบจากกิจกรรมที่ครูเตรียมไว้ รวมถึงนักเรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองการเรียนรู้และเข้าใจแบบจำลองจึงเป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ซึ่งจะเห็นได้จากการนำแบบจำลองมาใช้ในการเรียนวิทยาศาสตร์แทบทุกสาขาวิชา Coll (1999) พบว่า กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานช่วยให้นักเรียนมีการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ เช่น แนวคิดเรื่อง ดาราศาสตร์ เอกภพ กาแล็กซี่ ดาวฤกษ์ และระบบสุริยะ และพัฒนาตนเองให้มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ในระดับสูง (กฤษณา โภคพันธ์, 2554) การจัดกิจกรรมตามขั้นตอนใช้วัฏจักรสืบเสาะหาความรู้ 5E พบว่าการเรียนรู้โดยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5E เรื่อง อาหารกับการดำรงชีวิต กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 85.00 และเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ สามารถคงทนความรู้หลังเรียนได้ร้อยละ 99.31 (ภัทร์ธีนันท์ รัตนพงศ์ภัค, 2550)

2) ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่องหน่วยของสิ่งมีชีวิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพ (E_1/E_2) และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 84.73/81.87 และ 0.6811 ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (75/75) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการจัดกิจกรรมที่ยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ผู้เรียนแสวงหาความรู้ และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และการเรียนรู้โดยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5E นั้นนักเรียนทุกคนมีโอกาสแสดงความคิดเห็น อภิปรายผล สามารถพัฒนาด้านความคิด และการสืบเสาะเพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ที่เป็นการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจึงสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ ชาคริต เดชโยธิน (2548) พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้เรื่องสารในชีวิตประจำวัน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพ 81.47/80.85 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งแสดงว่าการเรียนโดยใช้แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบวัฏจักรการเสาะหาความรู้ 5E ช่วยให้นักเรียนมีความรู้สูงขึ้น และนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E มีความก้าวหน้าทางการเรียนและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น อีกทั้งการจัดกิจกรรมก็มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งสอดคล้องกับ ชาคริต เดชโยธิน (2548) พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้เรื่องสารในชีวิตประจำวัน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพ 81.47/80.85 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งแสดงว่าการเรียนโดยใช้แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบวัฏจักรการเสาะหาความรู้ 5E ช่วยให้นักเรียนมีความรู้สูงขึ้น วรรณา อู่ไพจิตร (2557) พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนของนักเรียนที่ เรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง เซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยใช้วัฏจักรการเรียนรู้แบบ 5E สำหรับนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 1 สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และราวรรณ แสงอยู่ (2556) พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การจัดกิจกรรมตามขั้นตอนใช้วัฏจักรสืบเสาะหาความรู้ 5E พบว่าการเรียนรู้โดยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5E เรื่อง อาหารกับการดำรงชีวิต กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 85.00 และเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 2 สัปดาห์ สามารถคงทนความรู้หลังเรียนได้ร้อยละ 99.31 (ภัทร์ธีนันท์ รัตนพงศ์ภัค, 2550)

เอกสารอ้างอิง

กฤษณา โภคพันธ์. (2554). *การพัฒนาแนวคิดเรื่องดาราศาสตร์และอวกาศ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*

จิตติมา ดมหอม. (2553). *ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ต่อการพัฒนาแนวคิด และเจตคติต่อการเรียนเรื่อง เซลล์และการแบ่งเซลล์ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4.* (ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. หลักสูตรและการสอน), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ปิยะณัฐ นันทนาการ. (2551). *ผลของการเรียนรู้ด้วยการออกแบบที่มีต่อมโนทัศน์ทางชีววิทยาและ ความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.* (วิทยานิพนธ์ครุศาสตร มหาบัณฑิต สาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรทิวา ทองปน. (2556). *การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การดำรงชีวิตของพืชและทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้ชุดกิจกรรมร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหา*

ความรู้ 5E. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, จังหวัดอุบลราชธานี.

ภัทร์ธีนันท์ รัตนพงศ์ภัค. (2550). *การพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสอนแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5E) เรื่อง อาหารกับการดำรงชีวิตสาระวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2.* (การศึกษาค้นคว้าอิสระ กศ.ม. หลักสูตรและการสอน). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ระเบียบ อนันตพงศ์. (2550). *ผลการใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องสนามของแรง และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนหาดใหญ่ วิทยาลัยกุลกันยา จังหวัดสงขลา.* (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยทักษิณ, จังหวัดสงขลา.

ราวรรณ แสงอยู่. (2556). *ผลของการใช้วงจรการเรียนรู้ 5E ร่วมกับเทคนิคการใช้คำถามตามแนวคิดของออสบอร์นที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น.* กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลลิตา เอียดนุสรณ์. (2553). *การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความเข้าใจที่คงทนในการเรียนเรื่องการหายใจระดับเซลล์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยชุดการเรียนรู้โดยกระบวนการสืบเสาะแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5E.* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา), มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, จังหวัดอุบลราชธานี.

วรรณา อู๋ไพจิต. (2557). *การศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์สิ่งมีชีวิต โดยใช้วัฏจักรการเรียนรู้ 5E สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.* (ครุศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, จังหวัดบุรีรัมย์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2549). *เอกสารการประชุมปฏิบัติการเผยแพร่ขยายผล และอบรมรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เพื่อพัฒนากระบวนการคิดระดับสูง.* กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2551). การสอนโดยเน้นทักษะกระบวนการ. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์*, 8(2): 28-38.

สมจิต สวธนไพบูลย์. (2541). *เอกสารคำสอนวิชา กว 571 ประชุมปฏิบัติการสอนวิทยาศาสตร์.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

สุทธิจักร ศรีถนอมรัก. (2548). *แนวคิดเกี่ยวกับเซลล์และการแบ่งเซลล์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่6 ในเขตทุ่งเพียงของแขวงเวียงจันทร์ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว.* (ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต ศึกษาศาสตร์-การสอน), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ. (2550). “การประเมินผลการเรียนรู้แบบใหม่โดยใช้ผลการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน”, วารสาร มฉก. วิชาการ. 11(21) :86-94 ; มกราคม - พฤษภาคม.

Clement, P. 2007. “Introducing the Cell Concept with both Animal and Plant Cells: A Historical and Didactic Approach.” *Science and Education*. 16: 423-440.

Coll, R. K. (2006). *Metaphor and Analogy in Science Education*. Netherlands: Springer.

Gilbert, J. K. and S. W. Ireton. (2003). *Understanding Models in Earth and Space Science.* Arlington: NSTA Press.

Justi, R. and Gilbert, J. K. (2002). Science teachers’ knowledge about and attitudes towards theuse of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education,* 24(12), 1273–1292.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire (VNOS): Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners’ Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.

National Research Council. (2000). Inquiry and the National Science Education Standards: *A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: National Academy Press.

การสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง

ทรงภพ ขุนมธุรส[1]
[1]สาขาวิชาภาษาไทย ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
*E-mail: songphop.kh@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง (Direct Method) ของนิสิตสาขาวิชาภาษาไทย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 28 คน โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย 1) เพื่อให้นิสิตได้นำความรู้ที่ได้เรียนไปปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ในระดับประถมศึกษา ณ โรงเรียนบ้านเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ 2) เพื่อพัฒนาการอ่านสะกดคำ การออกเสียงควบกล้ำ การออกเสียสระสั้น-ยาว เพื่อให้นักเรียนพูดและอ่านออกเสียงภาษาไทยให้ชัดเจนขึ้น และ3) สำรวจความพึงพอใจของนิสิตที่เข้าร่วมปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ในครั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ การสังเกตและแบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ผลการวิจัยพบว่า นิสิตสามารถปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ในระดับประถมศึกษาโดยใช้วิธีสอนแบบตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์มีความสนุกสนานและได้รับความรู้ในขณะที่นิสิตทำการสอน และนิสิตมีความพึงพอใจเกี่ยวกับการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 ของจำนวนผู้เข้าร่วมปฏิบัติการสอนทั้งหมด

คำสำคัญ : การสอนภาษาไทยให้แก่ผู้พูดภาษาอื่น วิธีสอนแบบตรง กลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง)

Teaching Thai language to ethnic students (Hmong) using direct method

Songphop Khunmathurot
[1]Thai language Major, Department of Education, Faculty of Education, Naresuan University
*E-mail: songphop.kh@gmail.com

Abstract

This research was the Thai language teaching to ethnic students (Hmong) by using direct method of 28 Thai language students, Faculty of Education, Naresuan University with research objectives 1) To enable students to apply the knowledge they have learned to practice teaching Thai language to ethnic students (Hmong) at the elementary level at Ban Khek Noi School, Khao Kho District, Phetchabun Province. 2) For development Read Spelling Diphthong Short-term vowel exit for students to speak and read aloud in Thai. 3) It also aimed to survey the satisfaction of students who participated in teaching Thai language to ethnic students (Hmong) at this time. The tools used in the research were observation and questionnaires. The statistics used in the analysis were average ($\overline{X}$) and standard deviation (S.D). The research found that students could practice teaching Thai language to ethnic students (Hmong) for the elementary level by using direct method with efficiency. Ethnic students had fun and gained knowledge while undergraduates were teaching. In addition, students are satisfied with the practice of teaching Thai language to ethnic students (Hmong) at a high level with an average of 4.29 of the total number of participants.

Keywords: Teaching Thai to Speakers of Other Language, direct method, ethnic students (Hmong)

บทนำ

ภาษาไทยเป็นเอกลักษณ์ของชาติเป็นสมบัติทางวัฒนธรรมอันก่อให้เกิดความเป็นเอกภาพและเสริมสร้างบุคลิกภาพของคนในชาติให้มีความเป็นไทย เป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารเพื่อสร้างความเข้าใจและความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน ทำให้สามารถประกอบกิจธุระ การงาน และดำรงชีวิตร่วมกันในสังคมประชาธิปไตยได้อย่างสันติสุข และเป็นเครื่องมือในการแสวงหาความรู้

ประสบการณ์จากแหล่งข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ เพื่อพัฒนาความรู้ พัฒนากระบวนการคิดวิเคราะห์ วิจารณ์ และสร้างสรรค์ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคม และความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ตลอดจนนำไปใช้ในการพัฒนาอาชีพให้มีความมั่นคงทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ยังเป็นสื่อแสดงภูมิปัญญาของบรรพบุรุษด้านวัฒนธรรม ประเพณี และสุนทรียภาพ เป็นสมบัติล้ำค่าควรแก่การเรียนรู้ อนุรักษ์ และสืบสานให้คงอยู่คู่ชาติไทยตลอดไป (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551 : 3) ภาษาเป็นเครื่องมือที่แสดงถึงวัฒนธรรมของชาติ การศึกษาภาษาจึงทำให้เข้าใจวัฒนธรรมความรู้สึกนึกคิดของเจ้าของภาษาได้ดียิ่งขึ้น ภาษาไทยนับเป็นวัฒนธรรมที่สำคัญของชาติไทยที่ควรอนุรักษ์ไว้ จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยกำลังเป็นที่สนใจของชาวต่างประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม นับวันชาวต่างประเทศจะสนใจศึกษาภาษาไทยมากยิ่งขึ้น เมื่อมีผู้สนใจศึกษาภาษาไทยเป็นจำนวนมาก การถ่ายทอดความรู้ด้านภาษาไทยที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ชาวต่างประเทศและชาวกลุ่มชาติพันธุ์ได้เรียนรู้ภาษาไทยได้อย่างถูกต้อง

บ้านเข็กน้อย เป็นหมู่บ้านชาวม้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ตั้งอยู่ที่ตำบลเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นหมู่บ้านที่มีประเพณี ภาษา และวัฒนธรรม ที่สืบทอดต่อกันมาเป็นเวลานาน

โรงเรียนบ้านเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ตั้งอยู่ในชนบทที่ห่างไกลและมีกลุ่มชาติพันธุ์ที่เรียนในโรงเรียนบ้านเข็กน้อยเป็นจำนวนมาก และนักเรียนมีปัญหาทางการเรียนภาษาไทยด้านการสะกดคำ การออกเสียงควบกล้ำ การออกเสียงสระสั้น-ยาว และพูดภาษาไทยไม่ชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ริเริ่มโครงการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ : การสร้างชาติและพัฒนาคนอย่างยั่งยืน เพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้และการสอนภาษาไทยให้กับนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ ตลอดจนการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู และเกิดประสบการณ์ในการทำงานร่วมกันเป็นหมู่คณะ ตลอดจนได้รับประสบการณ์ตรงจากสถานที่จริง และเป็นการพัฒนาองค์ความรู้และส่งเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ให้แก่นิสิต อันเป็นการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 อีกทั้งยังเป็นการปฏิบัติตามแนวคิดการสร้างชาติและพัฒนาคนอย่างยั่งยืนของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 อีกด้วย

วิธีสอนภาษาไทยให้แก่ผู้พูดภาษาอื่น เป็นแผนรวมของกระบวนการในการนำเสนอเนื้อหาในการเรียนการสอน แผนรวมนี้ประกอบด้วยจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอน การคัดเลือกและจัดลำดับเนื้อหา รูปแบบของการนำเสนอเนื้อหา บทบาทของผู้สอนและผู้เรียน รวมทั้งสื่อการสอนด้วย องค์ประกอบเหล่านี้ต้องสอดคล้องกับแนวคิดที่ผู้สอนกำหนดไว้ ก่อนเริ่มสอนภาษาทุกครั้ง ผู้สอนควรมีวัตถุประสงค์ในการสอนแต่ละครั้งว่า ต้องการสอนเรื่องอะไร และสอนอย่างไร ดังนั้นผู้สอนจึงต้องมีแนวคิดหรือทฤษฎีในการสอน เพื่อเป็นแนวทางในการสอนอย่างมีหลักเกณฑ์ แล้วนำแนวคิดหรือทฤษฎีนั้นไปเปลี่ยนเป็นวิธีสอนหรือการวางแผนการสอน ขั้นตอนการสอนที่ผู้สอนกำหนดไว้ เริ่มตั้งแต่เกริ่นนำเข้าบทเรียน นำเสนอบทเรียน สรุปการสอน รวมทั้งการวัดและการประเมินผลการเรียน วิธีสอนหรือการวางแผนการสอนที่ดีต้องเลือกใช้ให้ควบคู่กับกลวิธีการสอนอย่างเหมาะสมจึงจะทำให้การสอนภาษาประสบความสำเร็จ (รุ่งฤดี แผลงศร, 2560 : 68-69)

วิธีสอนที่เหมาะสมที่สุดในการสอนภาษาไทยให้แก่ผู้พูดภาษาอื่น คือ วิธีสอนแบบตรง (Direct Method) ซึ่งเป็นวิธีสอนภาษาที่สองที่ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ภาษาเหมือนการรับรู้ภาษาแม่ของผู้เรียน ผู้เรียนไม่จำเป็นต้องท่องจำกฎเกณฑ์หรือคำศัพท์มากมาย ไม่มีการแปลภาษาจากภาษาแม่เป็นภาษาที่เรียนหรือจากภาษาที่เรียนเป็นภาษาแม่ วิธีสอนแบบตรงนี้เป็นการเรียนรู้ความหมายต่างๆ เรียนด้วยวิธีเชื่อมโยงโดยตรงกับภาษาที่เรียน โดยไม่ผ่านกระบวนการแปลเป็นภาษาของผู้เรียน (สุมิตรา อังวัฒนกุล, 2540 : 48) ฉะนั้นผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการสอนแบบตรง เป็นวิธีสอนที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาการเรียนภาษาไทยด้านการสะกดคำ การออกเสียงควบกล้ำ การออกเสียงสระสั้น-ยาว และการพูดภาษาไทยไม่ชัดของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ได้ เพราะเป็นการเรียนรู้ภาษาเหมือนกับการรับรู้ภาษาแม่ของผู้เรียนเอง

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจทำการวิจัยเชิงทดลอง โดยให้นิสิตสาขาวิชาภาษาไทย ชั้นปีที่ 4 คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เข้าปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ณ โรงเรียนบ้านเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อพัฒนาการอ่านสะกดคำ การออกเสียงควบกล้ำ การออกเสียสระสั้น-ยาว เพื่อให้นักเรียนพูดและอ่านออกเสียงภาษาไทยให้ชัดเจนขึ้น โดยใช้วิธีสอนแบบตรง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้นิสิตได้นำความรู้ไปใช้ในการปฏิบัติการสอนนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง
2. เพื่อสำรวจความพึงพอใจในการเข้าร่วมปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง)

ความสำคัญของการวิจัย

1. นิสิตได้ทดลองปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีกสอนแบบตรง
2. ได้ทราบความพึงพอใจของนิสิตที่เข้าร่วมการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง)
3. ได้เห็นวิธีการสอนแบบตรงสามารถช่วยพัฒนาทักษะการอ่านออกเสียง การพูดภาษาไทยของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ได้

การทบทวนวรรณกรรม

ความสำคัญของการสอนภาษาไทยให้แก่กลุ่มชาติพันธุ์

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา มีผลการวิจัยหลายเรื่องที่แสดงให้เห็นปัญหาของการใช้ภาษาไทยของเด็กกลุ่มชาติพันธุ์ไว้ เห็นได้จากผลจากการประเมินคุณภาพนักเรียน พบว่า ผลการประเมินกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทยของเด็กในระดับประถมศึกษาปีที่ 6 ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 38.09 และยังพบปัญหาของเด็กในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มีปัญหาการอ่านออกเสียงคำไม่ได้และอ่านไม่ถูกต้อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้ต่างๆ ต่ำไปด้วย (จันทรา เทพชุมพล, 2549 : 33) ปัญหาเด็กที่พูดภาษาไทยเป็นภาษาที่สองมักประสบปัญหาในการฟัง พูด อ่าน และเขียน เพราะนักเรียนที่ใช้ภาษาต่างไปจากภาษาไทยที่ครูใช้ในการสอน เด็กจะฟังครูหรืออ่านคำบางคำในหนังสือเรียนไม่เข้าใจและเด็กยังออกเสียงพูดภาษาไทยกลางบางเสียงไม่ชัดเจน จนเป็นปัญหาในการติดต่อสื่อสารในชั้นเรียนการที่เด็กไม่เข้าใจภาษาส่งผลไปสู่คุณภาพในการเรียนรู้ ความเครียดทำให้เด็กอ่านหนังสือไม่ออกและเขียนไม่ได้หรืออ่านได้แต่ไม่เข้าใจความหมาย ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ของเด็กเหล่านี้ต่ำกว่ามาตรฐานและต่ำกว่าเด็กไทยทั่วไป ดังนั้นการจัดการเรียนภาษาไทยจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเด็กกลุ่มนี้โดยการจัดการเรียนการสอนต้องเป็นการต่อยอดจากสิ่งที่เด็กรู้แล้วไปสู่สิ่งที่เด็กยังไม่รู้ทั้งการเรียนรู้ภาษาไทยและการใช้ภาษาเพื่อเป็นสื่อในการเรียนเรื่องต่าง ๆ การเรียนการสอนภาษาไทยเป็นภาษาที่สองสำหรับเด็กชาติพันธุ์จึงควรเริ่มจากการฟังและพูดก่อน เพื่อให้เด็กสามารถสื่อสารได้อย่างเข้าใจความพร้อมในการเรียนรู้อย่างมีคุณภาพ (บุษบา ประภาษพงษ์, 2556)

การจัดการเรียนการสอนให้กับเด็กภาษาอื่นนั้นต้องเริ่มจากให้ผู้เรียนมีความสามารถในการสื่อสารทั้งในด้านการฟังและการพูดไปพร้อม ๆ กัน การเตรียมความพร้อมทางภาษาไทยแก่เด็กที่เริ่มเรียนที่ไม่พูดภาษาไทยควรสอนโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติและพัฒนาการทางภาษาไทยโดยเน้นกิจกรรมที่ใช้ภาษาในสภาพที่เป็นจริงประกอบกับอาศัยเทคนิคหลายๆ ด้าน เพื่อให้เด็กที่มีปัญหาทางภาษาได้รู้และเข้าใจความหมายของคำ ประโยค สามารถพูด ฟังภาษาไทยได้อย่างรวดเร็ว ออกเสียงชัดเจนถูกต้อง ซึ่งครูจะต้องใช้เทคนิคและวิธีเตรียมความพร้อมใช้หลักบูรณาการในการสอน กล่าวคือ ควรนำคำศัพท์ที่เด็กเรียนรู้มาแล้วมาสัมพันธ์กับคำใหม่ ผูกประโยคให้สัมพันธ์กับเหตุการณ์และชีวิตประจำวัน และการนำชุมชนวัฒนธรรม และท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการเรียนการสอน เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของคนในท้องถิ่น (Anderson and Lynch,1988; อ้างในอภิรดี ไชยกาล วรวรรณ เหมชะญาติ และสร้อยสน สกลรักษ์, 2561)

อภิรดี ไชยกาล วรวรรณ เหมชะญาติ และสร้อยสน สกลรักษ์ (2561) ได้วิจัยเรื่องการสอนภาษาไทยเป็นภาษาที่สองสำหรับเด็กชาติพันธุ์เขมรถิ่นไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนภาษาไทยเป็นภาษาที่สอง สำหรับเด็กชาติพันธุ์เขมรถิ่นไทยที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษติดชายแดนประเทศกัมพูชา และศึกษาผลการทดลองใช้รูปแบบการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้น โดยการสอนภาษาไทยเป็นภาษาที่สองนี้นำแนวการสอนพูดและการสลับภาษามาบูรณาการเป็นหลักการสอนที่อยู่บนฐานของวัฒนธรรมและชุมชน เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสื่อสารของเด็กระดับชั้นอนุบาลปีที่ 2 ซึ่งกำลังศึกษาอยู่ในช่วงรอยต่อระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 การวิจัยครั้งนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพแบ่งเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 1 ศึกษาสภาพการเรียนการสอนในพื้นที่ โดยการสังเกตและการสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ครู ผู้ปกครอง และนักเรียน ระยะที่ 2 พัฒนารูปแบบการเรียนการสอน และระยะที่ 3 ทดลองใช้รูปแบบการเรียนการสอนกับกลุ่มตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่าการสอนภาษาไทยเป็นภาษาที่สองสำหรับเด็กกลุ่มชาติพันธุ์เขมรถิ่นไทย ต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างครอบครัว ชุมชน และโรงเรียน การเปิดโอกาสให้เด็กได้ใช้ภาษาแม่ของตนเองควบคู่กับการเรียนภาษาที่สองในชั้นเรียน ช่วยให้เด็กมีแรงจูงใจ เกิดความรู้สึกปลอดภัย และไม่มีความวิตกกังวล

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการสอนภาษาไทยให้แก่กลุ่มชาติพันธุ์ข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้วางแผนในกระบวนการวิจัยครั้งนี้ สรุปได้ดังนี้ 1) หาข้อมูลว่าโรงเรียนใดมีนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์มากที่สุดในเขตภาคเหนือตอนล่าง 2) เมื่อได้โรงเรียนแล้วให้นิสิตลงพื้นที่สอบถามปัญหาในชั้นเรียนวิชาภาษาไทยในประดับประถมศึกษาตอนต้นจากครูผู้สอนในรายวิชาภาษาไทย 3) ประชุมระดมสมองเกี่ยวกับการเลือกวิธีสอน การเขียนแผนการสอน และทำสื่อการสอนที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว 4) ให้นิสิตนำเสนอแผนการ

สอน สื่อการสอน และทดลองสอนในชั้นเรียนก่อน 5) ปรับปรุงแก้ไขแผนการสอนและวิธีการสอน 6) ลงปฏิบัติการสอนจริง ณ โรงเรียนบ้านเข็กน้อย จังหวัดเพชรบูรณ์

ความสำคัญของวิธีสอนแบบตรง

บุญเหลือ เทพยสุวรรณ (2554 : 23) กล่าวว่า วิธีสอนแบบตรง (Direct method) เป็นวิธีสนอที่นิยมใช้สอนภาษาต่างประเทศ และพยายามไม่ให้ใช้ภาษาของผู้เรียนเลย ในปัจจุบันอาจารย์ผู้สอนภาษาอังกฤษนิยมใช้สอนภาษาอังกฤษให้แก่นักเรียนต่างชาติ เพราะได้ผลจริง ทำให้ผู้เรียนภาษาสามารถสื่อสารได้คล่องแคล่วและชัดเจน ซึ่งเป็นวิธีการสอนของนักภาษาศาสตร์ในปัจจุบัน

ประภาพักตร์ เขตจตุรัส (2555 : 12) ได้ถึงวิธีสอนแบบตรงไว้ว่า เป็นวิธีการสอน ที่เน้นทักษะการฟัง และพูดให้เกิดความเข้าใจก่อน แล้วจึงฝึกทักษะการอ่านและการเขียนโดยมีความเชื่อว่า เมื่อนักเรียนสามารถฟังและพูดได้แล้ว ก็สามารถอ่านและเขียนได้ง่ายและเร็วขึ้น ไม่เน้นไวยากรณ์กฎเกณฑ์มากนัก บทเรียนส่วนใหญ่เป็นกิจกรรสนทนา นักเรียนได้ใช้ภาษาเต็มที่ เช่น ครูคอยกระตุ้นให้นักเรียนพูดโต้ตอบ ครูสร้างสภาพแวดล้อมหรือใช้สื่อที่เอื้อต่อการการเรียนการสอน อธิบายคำศัพท์ และใช้ตัวอย่างประกอบเป็นของจริง การวัดผลเน้นทักษะการฟังและพูด เช่น การเขียนตามคำบอก การปฏิบัติตามคำสั่ง เป็นต้น

ลักษณะสำคัญของวิธีสอนแบบตรง คือ การเรียนรู้ภาษาในสถานการณ์จริง เน้นทักษะการฟังและการพูด ผู้สอนจะอธิบายโดยใช้ภาษาที่เรียน โดยเริ่มต้นจากการสอนระบบเสียง ฝึกเลียนเสียงและแยกเสียงก่อน จากนั้นผู้เรียนจะได้ฝึกความหมายในประโยค ผู้สอนจะพยายามให้ผู้เรียนเข้าใจความหมายโดยใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้ของจริง รูปภาพ การแสดงท่าทาง ผู้เรียนจะเป็นผู้สรุปกฎเกณฑ์ทางภาษาด้วยตนเอง ส่วนการสอนทักษะการอ่านเป็นการนำเรื่องที่ผู้เรียนฝึกฟังและพูดมาแล้ว มาฝึกอ่านออกเสียงและพยายามหาความหมายของคำศัพท์จากบริบท โดยผู้สอนให้นักเรียนตอบคำถามเนื้อเรื่องที่อ่านเพื่อทดสอบความเข้าใจ (รุ่งฤดี แผลงศร, 2560 : 72-73)

ความหมายและความสำคัญของการศึกษาความพึงพอใจ

วอลแมน (Wolman, 1973 : 384) กล่าวว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกมีความสุข เมื่อคนเราได้รับผลสำเร็จตามความมุ่งหมาย ความต้องการ

วอลเลอร์สเตน (Wallerstein, 1971 : 256) กล่าวว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับผลสำเร็จตามความมุ่งหมาย และอธิบายว่า ความพึงพอใจเป็นกระบวนการทางจิตวิทยาไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน แต่สามารถคาดคะเนได้ว่ามีหรือไม่มีจากการสังเกตพฤติกรรมของคนเท่านั้น การที่จะทำให้คนเกิดความพึงพอใจจะต้องศึกษาปัจจัยและองค์ประกอบที่เป็นสาเหตุของความพึงพอใจนั้น

สรุปความหมายและความสำคัญของความพึงพอใจว่า เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับอารมณ์ ความรู้สึกและทัศนคติของบุคคลที่ได้รับการตอบสนองตรงความต้องการของตนเอง จึงทำให้เกิดความรู้สึกที่ดี แสดงออกมาทางพฤติกรรมที่ทำให้ปฏิบัติงานหรือกระทำสิ่งต่าง ๆ ได้ประสบความสำเร็จ ความพึงพอใจในการเรียนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การที่บุคคลจะเรียนรู้หรือมีการพัฒนาและความเจริญงอกงามนั้น บุคคลจะต้องอยู่ในสภาวะพึงพอใจ สุขใจเป็นเบื้องต้น (จารุวรรณ เทวกุล, 2555 : 18-19)

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวิธีการสอนแบบตรง และการศึกษาความพึงพอใจข้างต้น ผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการสอนแบบตรงนั้นจะช่วยพัฒนาผู้เรียนให้สามารถการอ่านสะกดคำ การออกเสียงควบกล้ำ การออกเสียสระสั้น-ยาว เพื่อให้นักเรียนพูดและอ่านออกเสียงภาษาไทยให้ชัดเจนขึ้น เพราะการสอนแบบตรงไม่ได้สอนให้ผู้เรียนท่องจำ แต่เป็นการฝึกผู้เรียนพูดถาม อ่านตามออกเสียงตาม เช่นเดียวกับที่ผู้เรียนเรียนรู้ภาษาแม่นั่นเอง

ส่วนการศึกษาความพึงพอใจ ผู้วิจัยจะนำมาใช้ในการออกแบบสอบถามนิสิตที่ปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) เพื่อนำผลประเมินที่ได้ไปปรับปรุงแก้ไขในการเรียนการสอนและการปฏิบัติสอนในครั้งต่อไป

วิธีการวิจัย

รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นิสิตสาขาวิชาภาษาไทย ชั้นปีที่ 4 คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 28 คน เป็นการเลือกแบบเจาะจง โดยนิสิตทั้ง 28 คนลงทะเบียนเรียนในรายวิชาภาษาไทยสำหรับชาวต่างประเทศโดยแบ่งกลุ่ม

ปฏิบัติการสอน จำนวน 7 กลุ่ม เพื่อปฏิบัติการสอนในระดับชั้นประถมศึกษาตอนต้น คือ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 รวมจำนวนนักเรียนทั้งสิ้นที่เข้าร่วมเป็นผู้เรียนทั้งหมด 238 คน มีรายละเอียดดังนี้

1. ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 4 ห้องเรียน รวมจำนวนนักเรียนทั้งหมด 141 คน
2. ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 3 ห้องเรียน รวมจำนวนนักเรียนทั้งหมด 97 คน

เทคนิควิธีการสอนแบบตรงและสื่อการสอน สรุปดังนี้

1. ทักทายผู้เรียนและนำตนเอง
2. นำเข้าสู่บทเรียนด้วยเพลง
3. ให้ผู้เรียนพูดและอ่านออกเสียงตาม โดยใช้วิธีการให้ผู้เรียนฟัง สังเกตรูปปาก และออกเสียงตาม
4. ให้ผู้เรียนพูดและอ่านด้วยตนเอง หากผู้เรียนออกเสียงไม่ชัดเจน นิสิตจะให้ผู้เรียนพูดและอ่านตามอีกครั้งจนกว่าผู้เรียนจะสามารถพูดออกเสียงคำนั้นอย่างชัดเจน
5. มีกิจกรรมกลุ่มให้ผู้เรียนและเพื่อนในชั้นเรียนทำร่วมกัน เพื่อให้เพื่อนช่วยเพื่อน และมีกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนออกมาเขียนหรือเลือกคำตอบที่ถูกต้อง พร้อมทั้งออกเสียงคำ ๆ นั้นหน้าชั้นเรียน
6. มีบัตรคำ เกมคำศัพท์ ใบงาน/แบบฝึกหัดให้ผู้เรียนได้เขียนตามคำบอก และออกมาพูดและอ่านออกเสียงให้ฟัง
7. ทำการประเมินผู้เรียนในท้ายชั่วโมงโดยการสังเกตและการทำใบงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การสังเกตและแบบสอบถาม

1. การสังเกต เป็นการสังเกตพฤติกรรมการสอนของนิสิต และพฤติกรรมการเรียนของนักเรียน
2. แบบสอบถาม เป็นแบบสำรวจความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยจำแนกออกเป็น 5 ด้าน คือ 1) ความพึงพอใจเกี่ยวกับเนื้อหาที่สอนเรื่อง “การอ่าน” 2) ความพึงพอใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการอ่านของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) 3) ความพึงพอใจเกี่ยวกับความสนใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนการสอน 4) ความพึงพอใจเกี่ยวกับการให้ความร่วมมือของโรงเรียนและครูประจำชั้น 5)ความพึงพอใจในภาพรวมที่มีต่อการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ซึ่งลักษณะของแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยกำหนดเกณฑ์ การให้คะแนนในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

5 คะแนน หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
4 คะแนน หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก
3 คะแนน หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง
2 คะแนน หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย
1 คะแนน หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. นำหนังสือจากคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ถึงผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านเข็กน้อย เพื่อขอความอนุเคราะห์พานิสิตเข้าทำการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และชั้นประถมศึกษาปีที่ 2
2. ให้นิสิตเขียนแผนการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง เพื่อปฏิบัติการสอนแบบบูรณาการทั้ง 4 ทักษะ คือ ฟัง พูด อ่าน เขียน จำนวน 6 ชั่วโมง/ห้องเรียน โดยเน้นกิจกรรมที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมอย่างสนุกสนาน เพื่อแก้ไขปัญหาการอ่านออกเสียงภาษาไทยให้แก่นักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2
3. สังเกตพฤติกรรมการสอนของนิสิตที่ปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง)
4. ให้นิสิตทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง)

การวิเคราะห์ผลและสถิติที่ใช้ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และสถิติที่ใช้ คือ ค่าร้อยละ (%) ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)

ผลการวิจัย

1. จากการปฏิบัติการสอนนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง ของนิสิตสาขาวิชาภาษาไทย ชั้นปีที่ 4 คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ ณ โรงเรียนบ้านเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยแบ่งนิสิตออกเป็น 7 กลุ่ม เพื่อสอนภาษาไทยในระดับเบื้องต้น โดยใช้เวลาสอนทั้งหมด จำนวน 6 ชั่วโมง/ห้องเรียน โดยปฏิบัติการสอนในระดับชั้นประถมศึกษาตอนต้น คือ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 รวมจำนวนนักเรียนทั้งสิ้นที่เข้าร่วมเป็นผู้เรียนทั้งหมด 238 คน มีรายละเอียดดังนี้

1. ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 4 ห้องเรียน รวมจำนวนนักเรียนทั้งหมด 141 คน
2. ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 3 ห้องเรียน รวมจำนวนนักเรียนทั้งหมด 97 คน

ผลการวิจัยด้วยวิธีการสังเกตพฤติกรรมการสอนของนิสิต และความสนใจของผู้เรียน โดยอาจารย์ประจำวิชาได้เดินสำรวจและสังเกตพฤติกรรมนิสิตที่ทำการสอนในแต่ละระดับชั้นและแต่ห้อง โดยที่มิให้นิสิตทราบล่วงหน้าว่าจะเข้าไปสังเกตพฤติกรรมเวลาใด และได้ทำการบันทึกวิดีโอในการทำการสอนครั้งนี้ พบว่า นิสิตทั้งหมด 28 คนที่ทำการสอนนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ในแต่ละระดับชั้นแต่ละห้องนั้น ทำการสอนเป็นไปตามแผนการสอนที่เตรียมไว้ และนักเรียนให้ความสนใจในในกิจกรรมการเรียนการสอนเป็นอย่างดี มีเพียง 1 ห้องเท่านั้น ที่มีนักเรียนร้องไห้และทำให้การเรียนการสอนต้องหยุดลงครู่หนึ่ง นิสิตที่ทำการสอนได้พยายามปลอบให้นักเรียนหยุดร้องไห้แต่ไม่สำเร็จ ครูประจำชั้นที่ร่วมสังเกตการณ์อยู่นอกห้องเรียนจึงเข้าไปพานักเรียนออกมานอกห้องเรียนเพื่อให้นิสิตได้ทำการสอนต่อให้เสร็จได้ทันเวลา หลังจากผู้วิจัยได้เดินสังเกตการปฏิบัติการสอนในแต่ละห้องเรียบร้อยแล้ว ได้นำวิดีโอเทปที่บันทึกในขณะที่สอนแต่ละห้องมาเปิดดูเพื่อตรวจสอบการปฏิบัติการสอนในภาพรวมทั้งหมดของแต่ละห้องอีกครั้ง เมื่อผู้วิจัยได้ประเมินผลการสอนของนิสิตเรียบร้อยแล้วจึงให้นิสิตนำวิดีโอเทปที่บันทึกไว้ไปตัดต่อทำเป็นวีทีอาร์สั้นๆ เพื่อเผยแพร่ลงในช่องยูทูบ YouTube ด้วย ผู้สนใจสามารถติดตามได้ตามลิงค์ต่อไปนี้

- คลิปวิดีโอการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1/1
https://youtu.be/D1Gqo7OF5FY
- คลิปวิดีโอการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1/2
https://youtu.be/1WMnUPNRbfU
- คลิปวิดีโอการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1/3
https://youtu.be/kEKeybAUD40
- คลิปวิดีโอการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1/4
https://youtu.be/nHTAYVzVNsc
- คลิปวิดีโอการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2/1
https://youtu.be/HvYbEj-aTO8
- คลิปวิดีโอการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2/2
https://youtu.be/fQGsVlxEPdI
- คลิปวิดีโอการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2/3
https://youtu.be/DxLjwWBpxFk

จากการสังเกตการปฏิบัติการสอนตามห้องเรียนและการวิเคราะห์จากคลิปวิดีโอการสอนของนิสิตในแต่ละห้องเรียนนั้น พบว่า นิสิตได้ใช้วิธีการสอนแบบตรง มีสื่อการสอน พร้อมทั้งกิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างน่าสนใจ โดยมีขั้นตอนการสอนสรุปได้ดังนี้

1. นิสิตกล่าวทักทายผู้เรียนและนำตนเอง
2. นิสิตนำเข้าสู่บทเรียนด้วยเพลง
3. นิสิตให้ผู้เรียนพูดและอ่านออกเสียงตาม โดยใช้วิธีการให้ผู้เรียนฟัง สังเกตรูปปาก และออกเสียงตาม
4. นิสิตให้ผู้เรียนพูดและอ่านด้วยตนเอง หากผู้เรียนออกเสียงไม่ชัดเจน นิสิตจะให้ผู้เรียนพูดและอ่านตามอีกครั้งจนกว่าผู้เรียนจะสามารถพูดออกเสียงคำนั้นอย่างชัดเจน
5. นิสิตมีกิจกรรมกลุ่มให้ผู้เรียนและเพื่อนในชั้นเรียนทำร่วมกัน เพื่อให้เพื่อนช่วยเพื่อน และมีกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนออกมาเขียนหรือเลือกคำตอบที่ถูกต้อง พร้อมทั้งออกเสียงคำๆ นั้นหน้าชั้นเรียน
6. นิสิตมีใบงาน/แบบฝึกหัดให้ผู้เรียนได้เขียนตามคำบอก และออกมาพูดและอ่านออกเสียงให้ฟัง

7. นิสิตได้ทำการประเมินผู้เรียนในท้ายชั่วโมงโดยการสังเกตและการทำใบงาน

2. จากการสำรวจความพึงพอใจของนิสิตที่เข้าร่วมปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ความพึงพอใจเกี่ยวกับเนื้อหาที่สอนเรื่อง “การอ่าน”

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
1. เนื้อหาสอดคล้องกับความต้องการของท่าน	4.54	0.51	มากที่สุด
2. ท่านคิดว่าเนื้อหาที่สอนจะสามารถช่วยพัฒนาการอ่านของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ได้	4.68	0.48	มากที่สุด
3. เนื้อหาที่สอนโดยรวมเหมาะสมกับระยะเวลาเพียงใด	4.32	0.72	มาก
รวม	**4.51**	**0.57**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 พบว่า ในด้านความพึงพอใจเกี่ยวกับเนื้อหาที่สอนเรื่อง “การอ่าน” ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.51 S.D. = 0.57) โดยด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ เนื้อหาที่สอนจะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์รองลงมาคือ เนื้อหาสอดคล้องกับความต้องการ และเนื้อหาโดยรวมเหมาะสมกับระยะเวลา ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการอ่านของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง)

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
1. การจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับความต้องการของท่าน	4.25	0.65	มาก
2. ท่านคิดว่าการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการอ่านจะช่วยพัฒนาการอ่านของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ได้	4.36	0.68	มาก
3. การจัดการเรียนรู้โดยรวมเหมาะสมกับระยะเวลาเพียงใด	4.18	0.77	มาก
รวม	**4.26**	**0.70**	มาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ความพึงพอใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการอ่านของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.26 S.D. = 0.7) หรือคิดเป็นร้อยละ 90.20 โดยด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ รองลงมาคือ เนื้อหาสอดคล้องกับความต้องการ และเนื้อหาโดยรวมเหมาะสมกับระยะเวลา ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจเกี่ยวกับความสนใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนการสอน

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
1. ความสนใจของนักเรียนสอดคล้องกับความต้องการของท่าน	4.32	0.67	มาก
2. ท่านคิดว่ากิจกรรมการเรียนการสอนช่วยให้ผู้เรียนสนุกและสนใจเรียน	4.32	0.72	มาก
3. กิจกรรมการเรียนการสอนโดยรวมเหมาะสมกับระยะเวลาเพียงใด	4.18	0.82	มาก
รวม	**4.27**	**0.74**	**มาก**

จากตารางที่ 3 พบว่า ความพึงพอใจเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.27 S.D. = 0.74) โดยด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ เท่ากับเนื้อหาสอดคล้องกับความต้องการ รองลงมา คือ เนื้อหาโดยรวมเหมาะสมกับระยะเวลา ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจเกี่ยวกับการให้ความร่วมมือของโรงเรียนและครูประจำชั้น

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
1. ความร่วมมือของผู้บริหารโรงเรียนที่มีต่อการปฏิบัติการสอน	4.17	0.72	มาก
2. ความร่วมมือของครูประจำชั้นที่มีต่อการปฏิบัติการสอน	4.25	0.70	มาก
3. การจัดเตรียมนักเรียนเพื่อการปฏิบัติการสอน	4.46	0.64	มาก
4. การจัดเตรียมห้องเรียนเพื่อการปฏิบัติการสอน	4.36	0.73	มาก
รวม	**4.31**	**0.70**	**มาก**

จากตารางที่ 4 พบว่า ความพึงพอใจเกี่ยวกับการให้ความร่วมมือของโรงเรียนและครูประจำชั้น ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.31 S.D. = 0.70) โดยด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุด คือ มีความรู้เกี่ยวกับกิจกรรมที่จัด รองลงมาคือ ได้เรียนรู้วิธีการจัดและประเมินผลที่สอดคล้อง และรูปแบบและวิธีการถ่ายทอดเนื้อหาได้เข้าใจและชัดเจนตามลำดับ

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจในภาพรวมที่มีต่อการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง)

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
1. โดยภาพรวม ท่านมีความพึงพอใจต่อการเข้าร่วมปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) เพียงใด	4.29	0.60	มาก
รวม	**4.29**	**0.60**	**มาก**

จากตารางที่ 7 พบว่า ความพึงพอใจเกี่ยวกับกิจกรรมท้องถิ่น ผู้เข้าร่วมโครงการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.29 S.D. = 0.60)

สรุปและอภิปรายการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง (Direct Method) ของนิสิตสาขาวิชาภาษาไทย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 28 คน เพื่อให้นิสิตได้นำความรู้ที่ได้เรียนไปปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ในระดับประถมศึกษา ณ โรงเรียนบ้านเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และสำรวจความพึงพอใจของนิสิตที่เข้าร่วมปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ในครั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ การสังเกตและแบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ผลการวิจัยพบว่า นิสิตสามารถปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ในระดับประถมศึกษาโดยใช้วิธีสอนแบบตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการสังเกตและการดูคลิปวิดีโอที่บันทึกไว้ในแต่ละห้องเรียน พบว่า นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์มีความสนุกสนานและได้รับความรู้ในขณะที่นิสิตทำการสอนทั้งในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 เพราะผู้เรียนมีความสนใจในตัวผู้สอนและกระตือรือร้นในการเรียน การทำกิจกรรมทุกกิจกรรมที่ผู้สอนเตรียมมา และนิสิตมีความพึงพอใจเกี่ยวกับการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการปฏิบัติการสอนนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยใช้วิธีสอนแบบตรง ของนิสิตสาขาวิชาภาษาไทย ชั้นปีที่ 4 คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ ณ โรงเรียนบ้านเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

ผลการวิจัยพบว่า นิสิตทั้งหมด 28 คนที่ทำการสอนนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ในแต่ละระดับชั้นแต่ละห้องนั้น ทำการสอนเป็นไปตามแผนการสอนที่เตรียมไว้ จำนวน 6 ชั่วโมง/ห้องเรียน และนักเรียนให้ความสนใจในในกิจกรรมการเรียนการสอนเป็นอย่างดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีสอนแบบตรง ดังที่รุ่งฤดี แผลงศร (2560) ได้กล่าวว่า วิธีสอนแบบตรง เป็นการเรียนรู้ภาษาในสถานการณ์จริง เน้นทักษะการฟังและการพูด ผู้สอนจะอธิบายโดยใช้ภาษาที่เรียน โดยเริ่มต้นจากการสอนระบบเสียง ฝึกเลียนเสียงและแยกเสียงก่อน จากนั้นผู้เรียนจะได้ฝึกความหมายในประโยค ผู้สอนจะพยายามให้ผู้เรียนเข้าใจความหมายโดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น การใช้ของจริง รูปภาพ การแสดงท่าทาง ผู้เรียนจะเป็นผู้สรุปกฎเกณฑ์ทางภาษาด้วยตนเอง ส่วนการสอนทักษะการอ่านเป็นการนำเรื่องที่ผู้เรียนฝึกฟังและพูดมาแล้ว มาฝึกอ่านออกเสียงและพยายามหาความหมายของคำศัพท์จากบริบท โดยผู้สอน

ให้นักเรียนตอบคำถามเนื้อเรื่องที่อ่านเพื่อทดสอบความเข้าใจ และเหตุที่มีนักเรียนร้องไห้ไม่หยุดนั้นไม่ใช่เป็นเพราะการปฏิบัติการสอนของนิสิต แต่เป็นเพราะมารดามาหาที่ห้องเรียนทำให้นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1/1 ร้องไห้ไม่หยุด เพราะ คิดถึงมารดาที่เดินทางมาจากรุงเทพฯ และอยากออกไปพบมารดาจึงร้องไห้ไม่หยุด

จากการสำรวจความพึงพอใจของนิสิตที่เข้าร่วมปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) โดยผลการวิจัยนิสิตมีความพึงพอใจเกี่ยวกับการปฏิบัติการสอนภาษาไทยให้แก่นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) อยู่ในระดับมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าผู้บริหารโรงเรียน ครู และนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติการสอนภาษาไทยในครั้งนี้เป็นอย่างดี อาจเป็นเพราะว่าครูประจำชั้นบางห้องคอยดูแลและควบคุมอยู่ข้างนอกประตูห้องอย่างใกล้ชิดทำให้นักเรียนไม่กล้าที่จะซุกซนหรือเล่นกันสักเท่าใดนักจึงส่งผลให้นักเรียนส่วนใหญ่ในแต่ละชั้นเรียนตั้งใจเรียน ประกอบกับนักเรียนรู้สึกตื่นเต้นที่ได้มีครูที่อายุน้อยเปรียบเสมือนพี่สาวพี่ชายมาสอนภาษาไทยอย่างสนุกสนานและเป็นกันเอง ทำให้นักเรียนให้ความร่วมมือและสนุกกับการเรียน การทำกิจกรรมของนิสิตเป็นอย่างดีนั่นเอง

สรุปได้ว่าการวิจัยครั้งนี้มีประโยชน์ต่อการเรียนการสอนให้แก่ผู้พูดภาษาอื่นหรือกลุ่มชาติพันธุ์ เนื่องจากเป็นการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการสอนแบบตรงนั้นสามารถช่วยแก้ไขปัญหาการการอ่านสะกดคำ การออกเสียงควบกล้ำ การออกเสียงสระสั้น-ยาวของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ (ม้ง) ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตาม ผู้เรียนจำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอ หากผู้เรียนไม่ได้ใช้ภาษาไทยในชีวิตประจำวัน ก็จะไม่สามารถพัฒนาการใช้ภาษาไทยได้เหมือนกับเจ้าของภาษา ฉะนั้นครูผู้สอนรายวิชาภาษาไทยจะต้องใช้วิธีสอนแบบตรง มากกว่าการให้ผู้เรียนท่องจำ และผู้ปกครองหรือครอบครัวของผู้เรียนจะต้องร่วมมือกันโดยการฝึกให้ผู้เรียนใช้ภาษาไทยทั้งห้องเรียนและในขณะที่อยู่บ้านด้วย จึงจะทำให้ผู้เรียนสามารถสื่อสารและออกเสียงภาษาไทยได้อย่างถูกต้องและชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *ผังมโนทัศน์และสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย.* กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา.

จันทรา เทพชุมพล. (2549). *การพัฒนาทักษะการอ่านออกเสียงภาษาไทย โดยใช้หนังสือประกอบการเรียนรู้และแบบฝึกทักษะการอ่าน เรื่องการประสมสระเดี่ยว สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาศรีสะเกษ เขต 3.* วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, สุรินทร์.

จารุวรรณ เทวกุล. (2555). *ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาพาณิชยกรรม ชั้นปีที่ 1 ชั้นปีที่ 2 และชั้นปีที่ 3 วิทยาลัยอาชีวศึกษาฉะเชิงเทรา.* สารนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต สาขาธุรกิจศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

รุ่งฤดี แผลงศร. (2560). *ศาสตร์การสอนภาษาไทยในฐานะภาษาต่างประเทศ.* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญเหลือ เทพยสุวรรณ. (2554). รวมบทความเกี่ยวกับการสอนภาษา มล. บุญเหลือ เทพยสุวรรณ. *วารสารภาษาปริทัศน์. 26*, 23.

บุษบา ประภาษพงษ์. (2556). การสอนแบบทวิ/พหุภาษากับแนวทางพัฒนาการศึกษาโรงเรียนเด็กไทยแนวชายแดนและพื้นที่ยากลำบาก. *วารสารวิชาการ.* 16(2) เมษายน-มิถุนายน, 84-95.

ประภาพักตร์ เขตจตุรัส. (2555). *เทคนิคการสอนภาษาอังกฤษ.* นครราชสีมา : โรงเรียนวัดสุทธจินดา.

สุมิตรา อังวัฒนกุล. (2540). *วิธีสอนภาษาอังกฤษ.* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิรดี ไชยกาล วรวรรณ เหมชะญาติ และสร้อยสน สกลรักษ์. (2561). การสอนภาษาไทยเป็นภาษาที่สองสำหรับเด็กชาติ พันธุ์เขมรถิ่นไทย. *วารสารสังคมลุ่มน้ำโขง.* 14(1) มกราคม-เมษายน, 109-132

Anderson, A., and Lynch, T. (1988). *Listening.* London, Oxford University Press.

Wallerstein, H. (1971). *A dictionary of psychology.* Maryland: Penguin Book.

Wolman, Thomas E. (1973). *Education and Organizational Leadership in Elementary School.* Englewood Cliffs: New Jersey: Prentice Hall.

ผลการใช้บทเรียนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา

พรรณี แพงทิพย์[1*] สิทธิชัย แพงทิพย์[2] และ แพรวศรี เดิมราช[3]

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา,

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาภาษาอังกฤษและเทคโนโลยีการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

[3] อาจารย์ สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

[*] E-mail : ppangtip@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลการใช้บทเรียนบนเว็บเรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา ปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาบทเรียนบนเว็บเรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา และขั้นตอนที่ 2 ศึกษาผลการใช้บทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา ที่เรียนสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 60 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีจับสลาก เพื่อเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 30 คน โดยกลุ่มทดลอง คือ กลุ่มที่ได้รับการสอนโดยใช้บทเรียนบนเว็บเป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้ และกลุ่มควบคุม คือ กลุ่มที่ได้รับการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ เครื่องมือการวิจัย ประกอบด้วย 1) บทเรียนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 2) แผนการสอน 3) แบบประเมินคุณภาพบทเรียนบนเว็บ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นแบบปรนัย 3 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ และ 4) แบบวัดความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าที (t-test) และการเขียนเรียบเรียงเชิงพรรณนา

ผลการวิจัยพบว่า

1. ผลการพัฒนาบทเรียนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา ได้บทเรียนที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นต่อบทเรียนบนเว็บอยู่ในระดับเหมาะสมมาก
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนโดยมีบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นเป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้สูงกว่าการสอนปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. ผู้เรียนมีความพึงพอใจในการใช้บทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก

คำสำคัญ: บทเรียนบนเว็บ นักเรียนที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสาร

Results of Using Web-based Lessons on Adding Numbers for Grade 1 Students Using Local Malay Language as Mother Tongue Communication in Yala Province

Pannee Paengtip[1*] Sittichai Paengtip[2*] and Praewsri Dermrach[3*]

[1] Assistant Professor Dr., Major in Computer Education, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

[2] Assistant Professor Dr., Major in English and Educational Technology, Faculty of Education, Yala Rajabhat University

[3] Lecturer, Major in computer, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

[*] E-mail: ppangtip@gmail.com

Abstract

This research aims to study result of using web-based lessons on Adding Numbers for grade 1 students using local malay language as mother tongue communication in yala province. The research methodology was divided into 2 steps: Step 1 was developed web-based lessons on Adding Numbers for grade 1 students in yala province using local malay language as mother tongue communication and steps 2 was to study the use of the

web-based lessons. The samples were 60 grade 1 students in Yala province, who were attending in the second semester of the academic year of 2017, assigned by simple random sampling into the experimental group and the control group. Each group consisted of 30 students. The experimental group studied from the web-based lessons as supplementary media for learning and the control group studied from the conventional methods. The research instruments were 1) The web-based lessons 2) regular plan 3) web-based lessons quality evaluation form 4) achievement tests contained 20 items and 5) satisfaction questionnaire. The data were analyzed using percentage, mean, standard deviation, t-test and descriptive report was employed.

The research found that

1. The Results indicate that value of efficiency of the web-based lessons on Adding Numbers for grade 1 students using local malay language as mother tongue communication in yala province was higher than the standard. The average opinion of experts towards the web-based lessons was high.
2. The learning achievements of the students who studied with the web-based lessons was significantly higher than those of studying in the conventional method at .05 level.
3. The average level of the satisfaction of the students with the web-based lessons was high.

Keywords: web-based lessons students using local malay language as mother tongue communication

บทนำ

การศึกษา คือ ปัจจัยหลักในการพัฒนาคุณภาพของมนุษย์ แต่การจัดการศึกษาในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ได้แก่ ปัตตานี ยะลา นราธิวาส มีปัญหาเรื่องคุณภาพการศึกษามายาวนาน สืบเนื่องมาจากปัญหาความแตกต่างทั้งเรื่องภาษาที่ประชาชนส่วนใหญ่ของพื้นที่จะใช้ภาษามลายูถิ่นในการติดต่อสื่อสาร รวมถึงเรื่องศาสนาและวัฒนธรรมที่แตกต่างจากพื้นที่ส่วนอื่นๆ ของประเทศไทย ส่วนราชการได้พยายามที่จะแก้ปัญหาโดยการจัดตั้งเขตการศึกษา 2 สำนักงานบริหารยุทธศาสตร์และบูรณาการการศึกษาขึ้นมา เพื่อให้การศึกษาได้พัฒนาใกล้เคียงกับภูมิภาคอื่นทั่วประเทศ แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์ความรุนแรงตั้งแต่ปี พ. ศ. 2547 เป็นต้นมา โรงเรียนถูกเผา ผู้บริหารและครูถูกทำร้ายทั้งได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก ประชาชนประสบปัญหาที่ต้องอยู่ท่ามกลางสภาพแวดล้อมทางสังคมที่วิกฤติและอันตรายนานาประการ ผู้เรียนไม่ได้รับโอกาสทางการศึกษาอย่างทั่วถึง ขาดโอกาสการเข้ารับบริการทางการศึกษาในระบบจำนวนมาก เกิดผลกระทบต่อการจัดกิจกรรม การเรียนการสอน ทำให้คุณภาพการศึกษาตกต่ำลง ผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนโดยรวมอยู่ในระดับต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยระดับชาติมาก รัฐบาลได้มีนโยบายที่ต้องการให้พื้นที่ของจังหวัดชายแดนภาคใต้ รวมถึงจังหวัดสตูล และ 4 อำเภอของจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอจะนะ นาทวี สะบ้าย้อยและเทพา เป็น “เขตพัฒนาพื้นที่พิเศษเฉพาะกิจจังหวัดชายแดนภาคใต้” ที่จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะด้านการศึกษาที่ต้องจัดให้สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรมให้เกิดสันติสุข ทั้งนี้เพื่อส่งผลต่อการพัฒนาคนและสังคมของประเทศให้มีคุณภาพ (เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์, 2550)

ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาที่ใช้ในหมู่ประชาชนที่มีเชื้อสายมลายูในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ ได้แก่ ปัตตานี ยะลา นราธิวาส สตูล และบางอำเภอของสงขลา มีสำเนียงแตกต่างในแต่ละท้องถิ่น โดยทั่วไปสามารถแบ่งสำเนียงออกได้สองพื้นที่ คือ ภาษามลายูถิ่นสตูล ซึ่งมีสำเนียงใกล้เคียงกับที่ใช้อยู่ในรัฐปะลิส และภาษามลายูถิ่นปัตตานี ซึ่งมีสำเนียงใกล้เคียงกับภาษามลายูถิ่นในรัฐกลันตันของมาเลเซีย ชาวมลายูส่วนใหญ่ในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้นิยมใช้ภาษามลายูสำเนียงถิ่นปาตานีเป็นภาษาแม่ และใช้อักษรยาวี (Jawi Script) ซึ่งเลียนแบบและประดิษฐ์เพิ่มเติมจากอักษรอาหรับในภาษาเขียน (รัตติยา สาและ, 2529: 5-8; Keyes, 2003 :186) สถานการณ์การจัดการเรียนการสอนภาษามลายูในจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้ให้ความสำคัญอย่างมากภายหลังเหตุการณ์ความรุนแรงในปี พ.ศ. 2547 รวมถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่มัสยิดกรือเซะและตากใบ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกระตุ้นให้ภาครัฐหันกลับมาให้ความสำคัญอย่างจริงจังต่อการกำหนดนโยบายการสอนภาษามลายู ทั้งมลายูถิ่นปาตานีและภาษามลายูมาตรฐานในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ กระทรวงศึกษาธิการเริ่มมีการปรับเปลี่ยนแนวคิดในการสอนภาษามาเป็นแบบทวิภาษาตั้งแต่ระดับอนุบาลจนถึงระดับประถมศึกษา โดยให้ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ โดยเริ่มต้นในการเรียนในโรงเรียนในเขตพื้นที่ 4 จังหวัดชายแดนใต้

ส่งเสริมให้มีการพัฒนาสื่อและกลวิธีการสอนเพื่อนำมาใช้กับโรงเรียนในจังหวัดชายแดนภาคใต้ ตั้งแต่ระดับอนุบาลทั้งในโรงเรียนของรัฐบาล โรงเรียนตาดีกา โรงเรียนปอเนาะและโรงเรียนเอกชนสอนศาสนาอิสลาม (อับดุลเล๊าะ ขรีดาโอ๊ะและคณะ, 2553)

ความจำเป็นของการนำเทคโนโลยีการศึกษาเข้าไปใช้พัฒนาการศึกษาจังหวัดชายแดนภาคใต้ ถือเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์ที่กำหนดไว้ในแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 ที่แสดงให้เห็นถึงปัญหาในการดำเนินงานในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ที่เป็นพื้นที่ที่กำหนดไว้ในแผนการศึกษาว่า เป็นพื้นที่ที่การศึกษามีปัญหา เนื่องจากขาดการพัฒนาเนื้อหาผ่านสื่อที่มีคุณภาพ รวมทั้งการเรียนการสอนและการพัฒนาผู้สอน ครูและนักเรียนนำความรู้ด้านเทคโนโลยีเพื่อการศึกษาไปใช้ในกระบวนการเรียนการสอนและการเรียนรู้ด้วยตนเองน้อย ส่งผลให้ผู้เรียนในจังหวัดชายแดนภาคใต้ มีผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาที่อยู่ในลำดับรั้งท้ายของประเทศ มีอัตราการออกกลางคันและตกหล่นของนักเรียนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานค่อนข้างสูง (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2553) จึงได้กำหนดยุทธศาสตร์เรื่อง การพัฒนาคุณภาพการศึกษา กลยุทธ์การพัฒนาสื่อและเทคโนโลยี ไม่ว่าจะเป็นโครงการพัฒนาประสิทธิภาพการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญด้วยการเรียนการสอนแบบ e-Learning ในจังหวัดชายแดนภาคใต้ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนครู เด็กและเยาวชนสามารถเข้าถึงการเรียนการสอนที่มีคุณภาพอย่างเสมอภาค ในกลยุทธ์นี้ได้กำหนดแนวทางในการพัฒนาที่ชัดเจนขึ้น โดยกำหนดเป็นหัวข้อ การพัฒนาสื่อและเทคโนโลยีที่มีการส่งเสริมการนำสื่อนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาช่วยในการจัดการศึกษาให้ครอบคลุมทุกพื้นที่และทุกระดับการศึกษา รวมถึงพัฒนาสื่อและนวัตกรรมทางการศึกษาทั้งประเภทสื่อสิ่งพิมพ์ สื่อช่วยสอน สื่อเพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง สื่อสำเร็จรูป สื่ออิเล็กทรอนิกส์ สื่อนิทรรศการและสื่อทางไกล เพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษาให้แก่สถานศึกษาที่อยู่ห่างไกลพื้นที่เสี่ยงภัยสูง ครูมีประสบการณ์การสอนไม่เพียงพอและส่งเสริมให้ครูและผู้บริหารสถานศึกษาผลิตสื่อ นวัตกรรม เพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองในสาระการเรียนรู้ที่จำเป็นต่อการพัฒนาการเรียนการสอน

จากสภาพและปัญหาการจัดการเรียนการสอนในจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้พัฒนาบทเรียนบนเว็บเรื่อง การบวกเลข กลุ่มสาระการเรียนคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ในจังหวัดยะลาที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารขึ้น เพื่อสร้างแรงจูงใจด้วยเทคนิคและวิธีการสอนที่ทันสมัย ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยความสนุกสนาน เนื่องจากเป็นสื่อมัลติมีเดียที่มีภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหว ที่สามารถทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในการเรียน อีกทั้งผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามความสามารถของผู้เรียนเอง ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการจัดการเรียนการสอนที่เกิดขึ้นในจังหวัดชายแดนภาคใต้ อีกทั้งเป็นการพัฒนาศักยภาพทางการเรียนของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย ได้แก่

1. พัฒนาบทเรียนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา
2. ศึกษาผลการใช้บทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น

สมมติฐานการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานการวิจัยไว้ดังนี้

1. ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมาก และบทเรียนมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 80/80

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนโดยมีบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นเป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้สูงกว่าการสอนปกติ

3. ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการใช้บทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับมาก

วิธีการวิจัย

1. แบบแผนการวิจัย

แบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ดำเนินการวิจัยแบบ Randomized Control Group Post-test only design (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2540 : 125) ซึ่งเป็นการทดลองแบบมีการสุ่มตัวอย่างจากประชากร เพื่อเข้ารับการทดลองและมีการทดสอบหลังการทดลองเพียงอย่างเดียว

2. ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนนิบงพัฒนา ตำบลสะเตงนอก อำเภอเมือง จังหวัดยะลา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาจังหวัดยะลา ที่เรียนสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 86 คน

ตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนนิบงพัฒนา ตำบลสะเตงนอก อำเภอเมือง จังหวัดยะลา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาจังหวัดยะลา ที่เรียนสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 60 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีจับสลาก เพื่อเข้ากลุ่มทดลอง คือ ตัวอย่างที่จะได้รับการสอนโดยใช้บทเรียนบนเว็บเป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้ และกลุ่มควบคุม คือ ตัวอย่างที่จะได้รับการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ กลุ่มละ 30 คน

3. ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบด้วย

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ วิธีสอน ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ

1) การสอนโดยใช้บทเรียนบนเว็บเป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้

2) การสอนแบบปกติ

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนโดยมีบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นเป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้

3) ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการใช้บทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น

4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ประกอบไปด้วย

4.1 บทเรียนบนเว็บเรื่อง การบวกเลข กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา โดยผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้สำหรับกลุ่มทดลอง ซึ่งบทเรียนนำเสนอในรูปแบบสื่อประสม ประกอบด้วยข้อความ รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหวและเสียงบรรยายทั้งภาษาไทยและภาษามลายูถิ่น

4.2 แผนการสอนปกติสำหรับกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เป็นแผนการสอนที่ผู้สอนใช้ในการจัดการเรียนการสอนในสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอนตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

4.3 แบบประเมินคุณภาพบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 อันดับ โดยใช้เป็นแบบประเมินเพื่อสอบถามความเห็นจากผู้ทรงเชี่ยวชาญเกี่ยวกับคุณภาพของบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น

4.4 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นแบบปรนัย 3 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ

4.5 แบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของตัวอย่างที่มีต่อบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น

5. การออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บ

ดำเนินการออกแบบและพัฒนาบทเรียนตามขั้นตอนของ ADDIE Model (มนต์ชัย เทียนทอง, 2548) ดังนี้

5.1 การวิเคราะห์ (Analysis) ดำเนินการกำหนดเนื้อหาวิชา เพื่อนำมาออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บ โดยนำเนื้อหาในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน 2551 ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มาออกแบบและพัฒนาบทเรียน เนื่องจากผู้ทรงคุณวุฒิให้ข้อเสนอแนะว่า เป็นระดับที่มีปัญหาในการจัดการเรียนการสอนมาก เพราะเด็กเล็กต้องการสื่อที่ตอบสนองกับผู้เรียนในรูปแบบที่หลากหลาย

5.2 การออกแบบ (Design) เป็นการกำหนดเทคนิคต่างๆ ที่นำมาใช้ในบทเรียน ประกอบด้วยเทคนิคการเรียนรู้โดยยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและยึดหลักการจัดการศึกษารายบุคคล ออกแบบบทเรียนด้วยการ์ตูนเอนิเมชั่นที่มีลักษณะการแต่งกายคล้ายกับนักเรียนในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนใต้ เพื่อดึงดูดความสนใจ และช่วยในการจดจำของผู้เรียน บทเรียนบนเว็บมีการนำเสนอในรูปแบบข้อความ รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหวและเสียงบรรยายประกอบทั้งภาษาไทยและภาษามลายูถิ่น โดยผู้สอนและผู้เรียนสามารถอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นได้ โดยไม่จำกัดเวลาและสถานที่

3.3 การพัฒนา (Develop) เป็นขั้นตอนในการต่อยอดมาจากขั้นตอนการออกแบบ โดยเริ่มจากการเขียน Storyboard เพื่อเป็นต้นแบบให้ฝ่ายผลิตทำการผลิตบทเรียนตามแบบที่กำหนดไว้ ตั้งแต่การจัดหาส่วนประกอบต่างๆ เช่น ภาพกราฟิก เสียง จากนั้นจึงเข้าสู่การเขียนโปรแกรมและการตัดต่อ และจัดทำเอกสารประกอบการเรียน

3.4 การทดลองใช้ (Implementation) ขั้นตอนการนำไปใช้เป็นการนำบทเรียนบนเว็บไปใช้งานจริง โดยเริ่มจากการทดลองใช้รายบุคคล ทดลองใช้กลุ่มย่อย และทดลองกับผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บ เพื่อพิจารณา

ความถูกต้อง ความสมบูรณ์ และความเหมาะสมของบทเรียน นำผลที่ได้นำมาปรับปรุง แก้ไข แล้วจึงนำไปทดลองกับตัวอย่างภาคสนาม (Field Testing)

3.5 การประเมินผล (Evaluation) เป็นขั้นตอนการประเมินผลประสิทธิภาพและประสิทธิผลของบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น โดยนำบทเรียนไปทดลองภาคสนามกับตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งมีแบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ดำเนินการวิจัยแบบ Randomized Control Group Post-test only design (การทดลองแบบมีการสุ่มตัวอย่างจากประชากรเพื่อเข้ารับการทดลอง และทดสอบหลังการทดลองเพียงอย่างเดียว)

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย ดำเนินการดังนี้

6.1 กลุ่มทดลอง ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

1) นำบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นไปให้ตัวอย่างทดลองใช้ จากนั้นเก็บคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน โดยให้ตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เมื่อการเรียนสิ้นสุดลงและบันทึกคะแนนของการสอบไว้

2) ตัวอย่างตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีต่อบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

6.2 กลุ่มควบคุม คือ ตัวอย่างที่ได้รับการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ โดยได้รับการสอนจากอาจารย์ผู้สอนประจำวิชา และเมื่อเรียนจบบทเรียนแล้ว อาจารย์ผู้สอนให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดเดียวกับที่ผู้เรียนกลุ่มทดลองทำแล้วผู้วิจัยรวบรวมผลเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากในการศึกษาวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาวิจัย จึงแยกกล่าว 2 ส่วน ดังนี้

7.1 ขั้นการพัฒนาบทเรียนบนเว็บ ผู้วิจัยเก็บรวมรวมข้อมูลที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิ และคะแนนสอบระหว่างเรียนและคะแนนการทำแบบทดสอบหลังเรียนของตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาบทเรียนบนเว็บ แล้วมาทำการวิเคราะห์ผลดังนี้

1) หาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับคุณภาพที่ต้องการประเมินของแบบประเมินคุณภาพบทเรียนบนเว็บ (บุญชม ศรีสะอาด, 2535:60-62)

2) หาค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (บุญชม ศรีสะอาด, 2535:60-62)

3) หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ใช้สูตร KR–20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) (บุญชม ศรีสะอาด, 2543:85)

4) หาคุณภาพของบทเรียนจากแบบประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5) หาประสิทธิภาพบทเรียนบนเว็บ โดยเปรียบเทียบคะแนนจากการทำแบบระหว่างเรียนกับคะแนนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) ให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 (เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต, 2528:259)

7.2 ขั้นการศึกษาผลการใช้บทเรียนบนเว็บ ผู้วิจัยเก็บรวบรวมคะแนนการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทาง การเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มาวิเคราะห์เพื่อ

1) หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของตัวอย่าง

2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบค่าที (t-test แบบ Independent) และ

3) หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น (บุญชม ศรีสะอาด, 2543)

ผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

1. วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1 เพื่อพัฒนาบทเรียนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา สรุปได้ดังนี้

1.1 ผลพัฒนาบทเรียนบนเว็บ

การพัฒนาบทเรียนบนเว็บในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัย ตำราและเอกสารที่เกี่ยวข้อง แล้วนำความรู้ที่ได้มาออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บ ซึ่งเครื่องมือหลักในการพัฒนาได้แก่ โปรแกรม Adobe Flash CS6 ซอฟต์แวร์ด้านกราฟิกได้แก่ Adobe Photoshop CS6 และโปรแกรม Adobe Illustrator CS6 ซอฟต์แวร์ด้านสร้างภาพเคลื่อนไหว ได้แก่ Adobe Premier pro, Xara 3D maker ซอฟต์แวร์จัดการเสียง ได้แก่ Cool Edit Pro และซอฟต์แวร์สนับสนุนอื่นๆ ได้แก่ Microsoft word 2010 ดำเนินการพัฒนาตามสตอรี่บอร์ดที่ได้ออกแบบไว้ มีลักษณะเป็นสื่อประสม ประกอบด้วยข้อความ (Text) ภาพ (Picture) ภาพกราฟิก (Graphic) ภาพเคลื่อนไหว (Graphic Animation) วีดิโอ (Video) เสียง (Sound) และเสียงประกอบ (Sound Effect) จึงทำให้บทเรียนมีความน่าสนใจ ซึ่งตัวอย่างบทเรียนที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 บทเรียนบนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา

บทเรียนบนเว็บ เรื่อง การบวกเลข กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลาที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็น 6 บทเรียนย่อย ซึ่งแต่ละบทเรียนจะประกอบด้วย คำแนะนำการเรียน เนื้อหาบทเรียน แบบฝึกหัดและเกมส์ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ในจากบทเรียนได้อย่างสะดวก สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับเนื้อหาบทเรียน เมื่อเรียนจบแต่ละบทเรียนย่อยผู้เรียนจะต้องทำแบบฝึกหัดของแต่ละเรื่องย่อย รวมมีเกมส์ให้ผู้เรียนได้ฝึกการเรียนรู้อย่างสนุกสนานอีกด้วย และเมื่อเรียนจนจบบทเรียนจะต้องทำแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของบทเรียน และหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนต่อไป ซึ่งตัวอย่างโครงสร้างบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 หน้าเนื้อหาบทเรียนในบทเรียนบนเว็บ

รูปที่ 3 ตัวอย่างหน้าบทเรียนในบทเรียนบนเว็บ

รูปที่ 4 ตัวอย่างหน้าแบบฝึกหัดในบทเรียนบนเว็บ

รูปที่ 5 ตัวอย่างหน้าเกมส์การเรียนการสอนในบทเรียนบนเว็บ

1.2 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนบนเว็บ ผู้วิจัยนำบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ประเมินคุณภาพ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนบนเว็บ

ด้านการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
1. ด้านตัวอักษร (Text)	4.02	0.93	มาก
2. ด้านภาพนิ่ง (Image)	4.26	0.78	มาก
3. ด้านภาพเคลื่อนไหว (Animation)	4.20	0.88	มาก
4. ด้านเสียง (Audio)	4.12	0.88	มาก
5. ด้านปฏิสัมพันธ์ (Interactive)	4.29	0.75	มาก
6. ด้านอื่นๆ	4.20	0.88	มาก
รวม	4.18	0.85	มาก

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นโดยผู้ทรงคุณวุฒิในภาพรวมทั้ง 6 ด้าน พบว่า มีคุณภาพในภาพรวมทั้ง 6 ด้านอยู่ในระดับคุณภาพมาก ($\overline{X}$ = 4.18, S.D. = 0.85) และบทเรียนบนเว็บมีคุณภาพในระดับมากทุกด้าน เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ด้านตัวอักษร (Text) มีผลประเมินคุณภาพต่ำที่สุด ($\overline{X}$ = 4.02, S.D. = 0.93) ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิอาจจะมองเห็นว่า บทเรียนบนเว็บเป็นสื่อเสริมการเรียนการสอนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ขนาดของตัวอักษรควรจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้นักเรียนอ่านได้ง่ายและทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น

1.3 ผลการหาประสิทธิภาพบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยนำบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นไปให้ตัวอย่างที่ไม่ใช่กลุ่มทดลองภาคสนามใช้ จากนั้นให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบระหว่างเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ปรากฏผลดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการหาประสิทธิภาพบทเรียนบนเว็บ

รายการ	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ
ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1)	24	25	20.03	82.56/81.94
ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)	24	20	15.93	

จากตารางที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ (E_1/ E_2) เท่ากับ 82.56/81.94 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 80/80

2. จากวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 เพื่อศึกษาผลการใช้บทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นเรื่อง การบวกเลข กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา ซึ่งจากการทดลอง พบว่า

2.1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ผู้วิจัยเก็บรวบรวมคะแนนการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แล้วนำมาวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตัวอย่าง	จำนวนผู้เรียน (n)	ค่าเฉลี่ย $\overline{X}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.	t
กลุ่มทดลอง	30	16.96	1.32	
กลุ่มควบคุม	30	12.46	2.12	9.69*

P > .05

จากตาราง 3 พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 16.96 และ 1.32 ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 12.46 และ 2.12 และค่า t ที่คำนวณได้เท่ากับ 9.69 แสดงว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนจากวิธีสอนโดยใช้บทเรียนบนเว็บเป็นสื่อเสริมในการเรียนรู้สูงกว่าการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยได้ตั้งเอาไว้

2.2 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนบนเว็บ สามารถสรุปได้ดังนี้

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนบนเว็บ

ด้านการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
1. ด้านเนื้อหา	4.38	0.58	มาก
2. ด้านเทคโนโลยี	4.33	0.57	มาก
รวม	4.35	0.57	มาก

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนบนเว็บในภาพรวมทั้ง 2 ด้าน อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.35, S.D.= 0.57) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจทั้งในด้านเนื้อหา ($\overline{X}$ = 4.38 , S.D. = 0.58) และด้านเทคโนโลยี ($\overline{X}$ = 4.33 , S.D. = 0.57) อยู่ระดับมากเหมือนกันทั้ง 2 ด้าน

อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยจนได้ผลสรุปการวิจัย มีประเด็นสำคัญนำมาอภิปรายผลดังนี้

1. การพัฒนาบทเรียนบนเว็บเรื่อง การบวกเลข กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ใช้ภาษามลายูถิ่นเป็นภาษาแม่ในการสื่อสารในจังหวัดยะลา ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บมีความคิดเห็นอยู่ในระดับเหมาะสมมากและประสิทธิภาพของบทเรียนบนเว็บมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ อภิปรายผลได้ดังนี้

บทเรียนบนเว็บเป็นนวัตกรรมทางการศึกษาที่นิยมนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบัน ซึ่งในการออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัย ตำราและเอกสารที่เกี่ยวข้อง แล้วนำความรู้ที่ได้มาออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บ จนสามารถนำมาใช้เป็นสื่อเสริมในการจัดการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี ใช้งานง่าย ผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเอง ในการออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาตามรูปแบบ ADDIE Model โดยอาศัยหลักวิธีการเชิงระบบ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับมนต์ชัย เทียนทอง (2548 : 97) ที่ได้กล่าวว่า รูปแบบการสอน ADDIE Model สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาบทเรียนด้วยคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้บทเรียนที่พัฒนาขึ้นยังได้รับการตรวจสอบความเหมาะสมและสอดคล้องจากผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บทั้งด้านเนื้อหาและการออกแบบ ไม่ว่าจะเป็นว่าจะเป็นด้านตัวอักษร ด้านภาพนิ่ง ด้านภาพเคลื่อนไหว ด้านเสียง ด้านปฏิสัมพันธ์ และด้านอื่น ๆ จนมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงส่งผลให้บทเรียนมีคุณภาพ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดลองหาประสิทธิภาพกับตัวอย่างที่ใช้หาประสิทธิภาพบทเรียน โดยในแต่ละครั้งในการทดลองใช้ ผู้วิจัยได้สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนและนำข้อบกพร่องที่พบมาปรับปรุงแก้ไข จนทำให้บทเรียนบนเว็บมีประสิทธิภาพช่วยให้ผู้เรียนผ่านกระบวนการเรียนและทำแบบประเมินสุดท้ายได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับมนต์ชัย เทียนทอง (2548 : 286) ที่กล่าวว่า ขั้นตอนการทดลองใช้นวัตกรรม เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ผู้พัฒนาจะต้องทำการทดลองใช้งานในลักษณะเสมือนจริงทุกประการ เพื่อศึกษาและตรวจสอบการทำงานของบทเรียนอย่างรอบคอบ ทั้งนี้เนื่องจากมีเหตุผลที่สนับสนุนให้บทเรียนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มผู้เรียนด้วยวิธีการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่า บทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น สอดคล้องกับนรินทร์ มากดี (2553) ได้ศึกษา การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 และผกาวรรณ อ่อนขวัญเพ็ชร (2557) ที่ศึกษา ผลการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เจตคติ และความสามารถในการเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้รับ

การสอนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสูงกว่าผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบปกติ และสอดคล้องกับ Aliasgari, Riahinia and Mojdehavar (2010) ได้ศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและเจตคติของนักเรียนต่อการเรียนรู้ วิชา คณิตศาสตร์ พบว่า กลุ่มผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีพัฒนาการการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยวิธีปกติ สอดคล้องกับจารุวัจน์ สองเมือง (2555) กล่าวว่า การจัดการเรียนการสอนโดยใช้คอมพิวเตอร์เหมาะสมกับการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ สามารถช่วยเหลือ สนับสนุน ส่งเสริมศักยภาพของผู้เรียนให้ 1) เกิดความสนใจในการเรียนรู้ของนักเรียนเพิ่มขึ้น โดยนักเรียนสนุกกับการเรียนรู้ด้วยสื่อสมัยใหม่ 2) นักเรียนศึกษาค้นคว้าเพิ่มขึ้น กระตุ้นนักเรียนให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากกิจกรรมที่ครูได้ออกแบบไว้และนำความรู้ที่ได้สู่การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักเรียนด้วยกันเองและระหว่างนักเรียนกับครูผู้สอน 3) ช่วยในการเสริมสร้างวินัยและความรับผิดชอบให้กับนักเรียน ด้วยระบบอีเลิร์นนิ่งกระตุ้นการศึกษาค้นคว้าและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของนักเรียน สร้างความภาคภูมิใจในผลงานของตนเองและฝึกความรับผิดชอบนักเรียนในการทำตามกติกาการเรียนรู้ที่ได้ตกลงไว้ ในขณะเดียวกันครูสามารถติดตามและสื่อสารกับนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น 4) ส่งเสริมการทบทวนเนื้อหาการเรียนรู้ ระบบทำให้เกิดการทบทวนเนื้อหาที่เรียนไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากครูสามารถนำผลสรุปจากการเรียนในชั้นเรียนปกติไปนำเสนอไว้สำหรับการทบทวนของนักเรียนได้อีกครั้งในห้องเรียนออนไลน์ และ 5) เกิดพัฒนาการสื่อสารระหว่างครูกับนักเรียน ทั้งนี้ครูสามารถติดตามการเรียนรู้ของนักเรียนผ่านระบบได้ ขณะเดียวกันยังสามารถใช้เครื่องมือที่มีอยู่ในระบบสื่อสารระหว่างครูกับนักเรียนได้อย่างหลากหลายช่องทางและทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนบนเว็บที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับมาก สืบเนื่องมาจากผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บที่มีการนำเสนอบทเรียนเป็นลำดับขั้นตอนอย่างน่าสนใจ บทเรียนมีลักษณะเป็นสื่อประสมนำเสนอด้วยข้อความ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว ที่มีสีสันสวยงาม ดึงดูดความสนใจ มีเสียงบรรยายทั้งแบบภาษาไทยและภาษามลายูถิ่นที่ผู้เรียนสามารถเข้าใจได้ง่าย ทำให้ผู้เรียนรู้สึกสนุกสนาน เพลิดเพลินและพึงพอใจกับการเรียน ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามศักยภาพของตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับฮูไซมะห์ กือเด็ง (2556) ที่ได้ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อบทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบเฉลยถูกผิดพร้อมอธิบายกับการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบเฉลยถูกผิดโดยไม่อธิบาย ผกาวรรณ อ่อนขวัญเพ็ชร (2557) ที่ได้ศึกษาผลการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เจตคติ และความสามารถในการเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์ จากการศึกษาของทั้ง 2 ท่านพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อบทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอยู่ในระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากและมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ได้พัฒนาขึ้นมีรูปแบบ สีสันสวยงาม ดึงดูดความสนใจ ทำให้ผู้เรียนรู้สึกสนุกสนานเพลิดเพลินและพึงพอใจกับการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาขึ้น อีกทั้งสอดคล้องกับ Aliasgari, Riahinia and Mojdehavar (2010) ที่ได้ศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและ เจตคติของนักเรียนต่อการเรียนรู้ วิชา คณิตศาสตร์ พบว่า กลุ่มนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีพัฒนาการการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น รวมถึงมีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์เมื่อเปรียบเทียบกับการเรียนรู้แบบดั้งเดิม

ข้อเสนอแนะ

1. **ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้**

จากการทดลองใช้บทเรียนบนเว็บ พบว่า

1.1 การเรียนด้วยบทเรียนบนเว็บ ต้องคำนึงถึงทักษะพื้นฐานในการใช้คอมพิวเตอร์ของผู้เรียนด้วย ถ้าผู้เรียนไม่เคยมีประสบการณ์การใช้บทเรียนบนเว็บมาก่อน ควรได้รับการฝึกทักษะในการใช้คอมพิวเตอร์พื้นฐานก่อน ซึ่งจะทำให้การเรียนรู้ด้วยบทเรียนบนเว็บบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

1.2 ก่อนที่จะเรียนด้วยบทเรียนบนเว็บ ควรให้นักเรียนศึกษาคู่มือแนะนำการใช้บทเรียน ตลอดจนทำความเข้าใจกับสัญลักษณ์และปุ่มคำสั่งต่างๆ เพื่อให้การเรียนเป็นไปด้วยความราบรื่น

1.3 เพื่อสนองตอบต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล การเรียนด้วยบทเรียนบนเว็บ จึงไม่ควรมีการจำกัดเวลา เนื่องจากความสามารถในการเรียนรู้ของแต่ละคนต่างกัน ควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้เวลาอย่างเต็มที่ตามความต้องการ จนกว่าจะเข้าใจในบทเรียนในบทเรียนบนเว็บทั้งหมด

1.4 การพัฒนาบทเรียนบนเว็บที่ดี ควรคำนึงถึงความสนใจของผู้เรียน บทเรียนควรมีลักษณะเร้าความสนใจของผู้เรียนได้ตลอดเวลา ทำให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นสนใจบทเรียนตลอดเวลา โดยการใช้การเคลื่อนไหวของภาพ และตัวอักษร หรือมีเสียงบรรยายและเสียงเพลงมาประกอบเป็นต้น นอกจากนี้บทเรียนที่ดีควรมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนให้มากที่สุด

1.5 การเรียนด้วยบทเรียนบนเว็บ ครูยังมีบทบาทสำคัญโดยเป็นผู้ชี้แนะ ให้คำปรึกษา และช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในกรณีที่คอมพิวเตอร์หรือโปรแกรมมีปัญหา

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บในสาระการเรียนรู้อื่นๆ หรือในรายวิชาอื่นๆ ที่มีเนื้อหาเป็นนามธรรมที่ยากแก่การเข้าใจของผู้เรียน เนื่องจากบทเรียนบนเว็บสามารถนำเสนอในรูปแบบของมัลติมีเดีย จึงสามารถช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในเรื่องที่เป็นนามธรรมให้เข้าใจเป็นรูปธรรมได้เป็นอย่างดี

2.2 ควรศึกษาวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนจากบทเรียนบนเว็บสำหรับผู้เรียนที่มีผลการเรียนแตกต่างกัน หรือในการจัดการเรียนรู้ในกลุ่มสาระอื่น หรือในรายวิชาอื่นที่จำเป็นที่ต้องนำการจัดการเรียนการสอนด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.3 ควรพัฒนาบทเรียนบนเว็บให้มากขึ้น เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เข้าถึงสื่อที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนอย่างแท้จริง โดยไม่จำกัดเวลาและสถานที่ เนื่องจากบทเรียนบนเว็บช่วยแก้ปัญหาเรื่องเวลาและการขาดแคลนผู้สอนได้ค่อนข้างดี จึงควรออกแบบและพัฒนาบทเรียนบนเว็บขึ้นมาทั้งในรูปแบบของสื่อหลักและสื่อเสริมการเรียนการสอน

เอกสารอ้างอิง

จารุวัจน์ สองเมือง. (2555). *การพัฒนาระบบอีเลิร์นนิ่งสำหรับการจัดการเรียนรู้ในโรงเรียนเอกชนสอนศาสนาอิสลาม*. (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี.

นรินทร์ มากดี. (2553). *การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องพื้นที่ผิวและปริมาตร ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3.* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

บุญชม ศรีสะอาด. (2543). *การวิจัยทางการวัดผลและประเมินผล.* กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

ผกาวรรณ อ่อนขวัญเพ็ชร. (2557). *ผลการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เจตคติ และความสามารถในการเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์*. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มนต์ชัย เทียนทอง. (2548). *การออกแบบและพัฒนาคอร์สแวร์สำหรับบทเรียนคอมพิวเตอร์ (พิมพ์ครั้งที่ 2).* กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

รัตติยา สาและ. (2529). *การอ่านและการเขียนภาษามลายูด้วยอักษรยาวี.* กรุงเทพฯ: โครงการแปลวรรณกรรมเพื่อนบ้าน มูลนิธิเสฐียรโกเศศ-นาคะประทีป.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2538). *เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา.* พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ : ส่งเสริมวิชาการ.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2540). *การวิจัยกึ่งทดลองทางพฤติกรรมศาสตร์ : การออกแบบและการ วิเคราะห์ข้อมูล.* กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์. (2550). *รายงานวิจัยเรื่องสภาพการจัดการศึกษาในจังหวัดชายแดนภายใต้.* สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, กระทรวงศึกษาธิการ.

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. (2528). *เทคโนโลยีการศึกษา.* กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). *แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579.* กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการการศึกษา.

อับดลเล๊าะ ขรีดาโอ๊ะและคณะ. (2556). ภาษา : กุญแจสำคัญในการไขสู่สุขภาวะของคนในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้. *ช่อบุหงา ออนไลน์.* คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 3(3), 69-75. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2558, สืบค้นจาก http://huso.pn.psu.ac.th/main/admin/BUNGA/fileupload_topic/Bunga02_14.pdf.

ฮูไซมะห์ กือเด็ง. (2556). *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยบทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบเฉลยถูกผิดพร้อมอธิบายกับการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบเฉลยถูกผิดแบบไม่อธิบาย.* (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี.

Aliasgari, M., Riahinia, N. & Mojdehavar, F. (2010). Education, Business and Society: Contemporary Middle Eastern Issues Emerald Article: Computer assisted instruction and student attitudes towards learning mathematics, *Education, Business and Society:Contemporary Middle Eastern Issues.* 3(1), 6-14.

Keyes, C. (2003). The Politics of Language in Thailand. in Brown, M. & Ganguly, S. editors. *Fighting Words: Language Policy and Ethnic Relations in Asia.* Massachusetts: The MIT Press. pp. 177-210.

ประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13

การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจกระแสใหม่

(Research and Innovations to Strengthen the New Economy)

ภาคผนวก

วันที่ 11-12 กรกฎาคม 2562
ณ อาคารเทพรัตนสิริปภา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประกาศมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
เรื่อง แต่งตั้งกองบรรณาธิการการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๑๓

ตามที่ สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัย บริการวิชาการและทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม สำนักงานอธิการบดี ได้รับอนุมัติให้ดำเนินโครงการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๑๓ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีในการนำเสนอผลงานวิจัยของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ในสาขาต่าง ๆ ทั้งจากหน่วยงานภาครัฐ เอกชนและผู้สนใจทั่วไป ซึ่งนำมาสู่การสร้างบรรยากาศของการวิจัยและการเผยแพร่องค์ความรู้สู่สังคม และเพื่อให้การดำเนินงานโครงการดังกล่าวบรรลุตามวัตถุประสงค์ มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

ฉะนั้น อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๘ และ ๒๑ แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. ๒๕๓๓ จึงแต่งตั้งกองบรรณาธิการการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๑๓ ดังมีรายชื่อต่อไปนี้

๑. หัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรมและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มีหน้าที่ ดูแลการดำเนินการจัดทำหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๑๓ (Proceedings) และพิจารณาความเหมาะสมในการตีพิมพ์

๒. กองบรรณาธิการ

๑. ศาสตราจารย์บุญชัย เตชะอำนาจ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
๒. ศาสตราจารย์ทวนทอง จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๓. รองศาสตราจารย์กนกวรรณ จารุกำจร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
๔. รองศาสตราจารย์สุปรีดิ์ พินิจสุนทร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
๕. รองศาสตราจารย์พุฒินันท์ มีเผ่าพันธุ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
๖. รองศาสตราจารย์สุณีย์รัตน์ เนียรเจริญสุข	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
๗. รองศาสตราจารย์ชิดชนก เชิงเชาว์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
๘. รองศาสตราจารย์ศิริพร จึงสุทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๙. ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิริยา อ่อนสอาด	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๑๐. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทวีศักดิ์ จึงวัฒนตระกูล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๑๑. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กติกา สระมณีอินทร์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๑๒. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติ เหลาสุภาพ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๑๓. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิ่นวดี ศรีสุพรรณ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๑๔. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทินวัฒน์ สร้อยกุดเรือ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
๑๕. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนาวัฒก์ รัตนธรรมเมธี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มีหน้าที่ ...

มีหน้าที่ พิจารณากลั่นกรองผลงานที่เสนอขอรับการตีพิมพ์ ให้ข้อเสนอแนะ และตรวจสอบความถูกต้องของบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ก่อนตีพิมพ์เผยแพร่ในหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัย ครั้งที่ ๑๓ (Proceedings) และให้คำปรึกษาด้านวิชาการฝ่ายจัดการในการดำเนินงาน

๓. ฝ่ายจัดการ

๑. นายสุรสิทธิ์ สุทธิคำภา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๒. นายสุภวัฒน์ โสวรรณี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๓. นางสาวปัญจีรา ศุภดล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๔. นางสาวนิตยศรี วงศ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๕. นางสาวอัจฉรา ทังนะที	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๖. นางสาวพัชราภรณ์ ดวงดี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มีหน้าที่ ดูแลการดำเนินการจัดทำหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัย ครั้งที่ ๑๓ (Proceedings) ประสานงานระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการ และผู้เขียน ตรวจสอบความถูกต้องของการจัดรูปแบบ พิสูจน์อักษร

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ ๑๖ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๒ ถึงวันที่ ๓๑ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๒

ประกาศ ณ วันที่ ๑๔ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๖๒

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชุตินันท์ ประสิทธิ์ภูริปรีชา)
รักษาราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาผลงาน
ในงานประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 13

รองศาสตราจารย์กนกวรรณ จารุกำจร	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กาญนิถา ครองธรรมชาติ	คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.กีรติ ธนะไชย	ภาควิชาภาษาไทยและภาษาตะวันออก คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ก้องเกียรติ ไตรสุวรรณ	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิตยา วรรณกิตร์	ภาควิชาภาษาไทยและภาษาตะวันออก คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.ปิยะนันท์ หิรัณย์ชโลทร	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์พัฒนา เหล่าไพบูลย์	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.พีรญา อึ้งอุดรภักดี	คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์พุฒินันท์ มีเผ่าพันธ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์วรนุช ศรีเจษฎารักข์	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.วันพิชิต ศรีสุข	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยนันต์ แท่งทอง	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรธัช อุ่นนันกาศ	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.ธนธรณ์ ขอทวีวัฒนา	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกพันธ์ แก้วมณีชัย	ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กชพร สิงหะหล้า	คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์กรวลัย พันธุ์แพ	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.กรีฑา แก้วคง	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณ์ ถิรพันธุ์เมธี	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รองศาสตราจารย์ชิดชนก เชิงเชาว์	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.ณรงค์ศักดิ์ รอบคอบ	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนาวัฒก์ รัตนธรรมเมธี	คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รักพงษ์ เพชรคำ	ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ฤตินันท์ สมุทร์ทัย	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์วุฒิชัย อัศวินชัยโชติ	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วโรดม เจริญสวรรค์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์สุปรีดิ์ พินิจสุนทร	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์สุปาณี พัดทอง	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ท่าพระจันทร์)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวัฒน์ ภัทรมาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็คทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิลักษณ์ เกษมผลกูล	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.เชต ใจกัลยา	ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์เดือนเต็ม กฤษดาธานนท์	สาขาวิชาภาษาญี่ปุ่น คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บรรลือ สังข์ทอง	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.กัลยา กองเงิน	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเศษกาญจนา ทองทั่ว	มูลนิธิประชาสังคมจังหวัดอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขนิษฐา พุดหอม	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิตรกร โพธิ์งาม	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชลธี โพธิ์ทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญณรงค์ บุญหนุน	คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิรชญา ชัยเกษม	กลุ่มสาขาวิชาการท่องเที่ยว คณะบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐกร ทับทอง	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทินวัฒน์ สร้อยกุดเรือ	ภาควิชาภาษาไทย คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ธวัชชัย เตชัสอนันต์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรา เอราวัณ	คณะบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์นุชรีย์ ศิริ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์นุศรา ปิยะพลรุ่งโรจน์	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
ศาสตราจารย์บุญชัย เตชะอำนาจ	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ปรีชา ภูวไพรศิริศาล	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานหทัย บัวศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ภาณุ ด่านวานิชกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาณุพล หงษ์ภักดี	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.มณีรัตน์ วงษ์ชิ้ม	คณะบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุ่งทิวา วงศกรทรัพย์	สาขาวิชาอุตสาหกรรมการอาหาร มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี
รองศาสตราจารย์วราภรณ์ บุญทรัพย์ทิพย์	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์สรา อาภรณ์	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ดร.สายฝน วิบูลรังสรรค์	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์สุณีย์รัตน์ เนียรเจริญสุข	สาขาวิชาภาษาญี่ปุ่น คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกรัตน์ ทานาค	ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อารีย์ฏา ถิรสัตยาพิทักษ์	คณะการบริการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
รองศาสตราจารย์สาโรจน์ รอดคืน	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รองศาสตราจารย์พัชณิตา ธรรมยงค์กิจ	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทรพรรณ ทำดี	ภาควิชาสังคมวิทยาและมานุษยวิทยา คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธาสินี สุภา	คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์กองพัน อารีรักษ์	สาขาวิชาวิศกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุ่งโรจน์ เกาะคู	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ขนิษฐา คำวิลัยศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อินทิรา ซาฮีร์	นักวิชาการอิสระ
รองศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ อัมพุช	คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กติกา สระมณีอินทร์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติ เหลาสุภาพ	วิทยาลัยแพทย์ศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทวีศักดิ์ จึงวัฒนตระกูล	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลติพร อุดมสุข	วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษณา พัวเพิ่มพูลศิริ	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรีดา ปราการกมานันท์	วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ณัฏฐ์ ดิษเจริญ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล	คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อธิพงศ์ สุริยา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์แสวง วัชระธนกิจ	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์กิตติศักดิ์ ขันติยวิชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ธรรมวิมล สุขเสริม	คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิพนธ์ กสิพร้อง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์น้องเล็ก คุณวราดิสัย	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสิทธิ์ กอบบุญ	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์วริษฎา ศิลาอ่อน	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริมา สุวรรณกูฏ จันต๊ะมา	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.สุกัญญา คลังสินศิริกุล	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เมรีรัตน์ มั่นวงศ์	วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาพร พรไตร	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.วศิน โกมุท	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัย บริการวิชาการ และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม
สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
โทรศัพท์ 0 4535 3035, 0 4535 3042
ubrc@ubu.ac.th
http://www.ubu.ac.th/~sme/ubrc/