



การผลิตน้ำตาลผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบลมร้อนและการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก Production of Palm Sugar Powder Using Hot Air Drying and Its Application to Pearl Bubble Product

ปัญญาภรณ์ ทัดพิชฌายังกูร พรหมโชติ* วรณวดี วันดี และ ปิยวรรณ บุญตา

Panchaporn Tadpitchayangkun Promchote*, Wannavadee Wandee and Piyawan Boonta

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University

*E-mail : pan.p@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตน้ำตาลผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนและประยุกต์ใช้น้ำตาลผงในการผลิตไข่มุก การศึกษาคุณภาพน้ำตาลสุก พบว่า น้ำตาลสุกมีปริมาณความชื้นร้อยละ 91.55 ค่าความหนืดเท่ากับ 108.3 cPs และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับ 3.5 °Brix ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 0.931 และ 3.5 ตามลำดับ และมีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 52.62 ± 0.12 , 22.85 ± 0.39 และ 75.58 ± 4.19 ตามลำดับ การอบแห้งน้ำตาลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่เหมาะสมคือ 150 นาที ส่งผลให้น้ำตาลผงมีความชื้นร้อยละ 9.01 ค่าสีของน้ำตาลผงมีค่า L^* สูงกว่า และ a^* และ b^* ต่ำกว่าค่าสีของน้ำตาลสด น้ำตาลผงมีความสามารถในการละลายในน้ำเย็นและน้ำร้อนร้อยละ 47 และ 57 ตามลำดับ การผลิตไข่มุกผสมน้ำตาลผงร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเหนียว (Adhesiveness) ค่าความหนึบ (Gumminess) และ ค่าการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) ลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลผงเพิ่มขึ้น ค่าสี L^* , a^* , b^* และค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การเติมน้ำตาลผงส่งผลให้คะแนนด้านประสาทสัมผัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำตาลผงร้อยละ 2.5-7.5 และตัวอย่างไข่มุกที่เติมน้ำตาลผงร้อยละ 7.5 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมสูงสุด

คำสำคัญ : ไข่มุก การทำแห้งแบบลมร้อน น้ำตาลผง สมบัติทางเคมีกายภาพ

Abstract

The objectives of this research were to produce palm sugar powder (PSP) using hot air-drying method and to apply PSP for pearl bubble production. The quality study of ripe palm sugar, it was found that its moisture content was 91.55%. Viscosity value was 108.3 cPs and total soluble solid content was 3.5 °Brix. Total soluble solid content and pH was 3.5 and 0.931, respectively. The color values, L^* , a^* and b^* , were 52.62 ± 0.12 , 22.85 ± 0.39 and 75.58 ± 4.19 , respectively. Optimum drying time of 150 minutes was found for drying of palm sugar at 70 °C, resulting in 9.01% moisture content of PSP. The L^* value of PSP was higher than that of ripe palm sugar whereas the a^* and b^* values were lower. The solubility in cold and hot water of PSP was 47 and 57%, respectively. In the production of pearl bubble mixed with 0, 2.5, 5, 7.5 and 10% of PSP, it was found that the hardness, adhesiveness, gumminess and chewiness were decreased with increasing PSP content. The color values, L^* , a^* , b^* and ΔE were statistically increased when PSP was



increased ($P < 0.05$). The sensory evaluation resulted that the addition of PSP 2.5-7.5% showed a tendency to increase the sensory score. The pearl bubble mixed with 7.5% of PSP has highest overall acceptance score.

Keywords : Pearl Bubble, Hot Air Drying, Palm Sugar Powder, Physicochemical Properties

บทนำ

ขนมไข่มุกเป็นเครื่องดื่มนิยมและมีกลุ่มตลาดเป้าหมายคือกลุ่มวัยรุ่นจนถึงวัยทำงาน ในปัจจุบันสามารถหาซื้อรับประทานได้ง่าย กลุ่มตลาดเครื่องดื่มนมมีมูลค่าทางการตลาดเติบโตต่อเนื่อง ศูนย์วิจัยกสิกรไทยได้รายงานผลการวิเคราะห์ว่า เครื่องดื่มนมมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 1 หมื่นล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเครื่องดื่มนมไข่มุกมีมูลค่าทางการตลาดไม่ต่ำกว่า 2 พันล้านบาทต่อปี (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2555) ดวงมล (2562) รายงานผลวิจัยของบริษัท Allied Analytics ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาวิจัยด้านการตลาด เผยมูลค่าตลาดขนมไข่มุกทั่วโลกราว 65,000 ล้านบาท และคาดว่าจะปี 2023 จะมีมูลค่าราว 100,000 ล้านบาท และจากเว็บไซต์ BillionWay ปี 2563 วิเคราะห์การเติบโตของธุรกิจขนมไข่มุกเฉพาะปี 2561 มีอัตราการบริโภคขนมไข่มุกของคนอาเซียนเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 3,000 มีการประเมินการเติบโตธุรกิจขนมไข่มุกอย่างก้าวกระโดด โดยเทียบจากปี 2016 ตลาดขนมไข่มุก มีมูลค่าราว 62,000 ล้านบาท และคาดการณ์จะมีการเติบโตอีกปีละร้อยละ 7-8 นั่นทำให้ปี 2028 ธุรกิจนี้จะมีมูลค่ามากขึ้นอีกราว 150,000 ล้านบาท (Wongsawat, 2020)

เม็ดไข่มุกทั่วไปทำมาจากแป้งมันสำปะหลัง น้ำตาลทรายแดงและน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งจัดว่าเป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานสูงและคุณค่าทางโภชนาการต่ำ และการทำเม็ดไข่มุกทำโดยการผสมแป้งกับน้ำตาลและน้ำ นวดให้เข้ากันแล้วปั้นเป็นก้อนกลม จากนั้นนำไปต้มให้สุก การแต่งสีไข่มุกนิยมใช้สีผสมอาหารซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม (บุศราภา, 2563) การผลิตเม็ดไข่มุกจากแป้งข้าวเจ้าช่วยลดการเติมสีในเม็ดไข่มุกสีดำ ปัจจุบันมีการผลิตเม็ดไข่มุกสีเหลืองทอง จึงมีแนวคิดใช้ผงสีจากธรรมชาติเพื่อแต่งสีของเม็ดไข่มุกทดแทนการใช้สีผสมอาหาร

ตาลเป็นผลไม้พื้นบ้านที่มีอยู่ทั่วทุกภูมิภาคในประเทศไทย ปลูกกันมากในจังหวัดเพชรบุรี สงขลา สุพรรณบุรี และอยุธยา ให้ผลผลิตลูกตาลในช่วงเดือนมีนาคมถึงสิงหาคม (บุญมาและพยอม, 2547) เนื้อลูกตาลสุกมีน้ำ เยื่อใย เพคติน และแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก (Yenrina, 2016) เนื้อตาลสุกนิยมนำมาแปรรูปเป็นขนมตาล และขนมหวานชนิดอื่น ๆ เช่น วุ้นตาล งานวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาการแปรรูปตาล ได้แก่ การศึกษาการผลิตแป้งขนมตาลโดยการผสมกับแป้งข้าวเจ้าแบบพ่นฝอย (วิจิตรและคณะ, 2561) การผลิตเนื้อตาลหิยผสมเนื้อสับปะรดด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมคือเนื้อตาลร้อยละ 20 และสับปะรดร้อยละ 80 ซึ่งให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี (แสงแข, 2562) การศึกษาผงเจลลี่จากเนื้อลูกตาลผสมสาหร่าย อัตราส่วนที่ได้รับการยอมรับด้านประสาทสัมผัสคือเนื้อตาลร้อยละ 95 และสาหร่ายร้อยละ 5 (Yenrina, et. al., 2016) ดังนั้นเพื่อเพิ่มแนวทางการแปรรูปเนื้อตาลสุกซึ่งมีอายุการเก็บรักษาสั้นประมาณไม่เกิน 2 วัน และเพิ่มมูลค่าลูกตาลสุก จึงมีแนวคิดการผลิตเนื้อตาลสุกชนิดผงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในเม็ดไข่มุกซึ่งจะช่วยเรื่องการพัฒนาด้านสีและกลิ่นรสของเม็ดไข่มุก การผลิตผลไม้แห้งชนิดผงสามารถทำได้ด้วยกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งอาจส่งผลคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ชไมพรและสุธาสินี (2555) ได้ศึกษาวิธีการทำแห้งตาลโตนด โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด พบว่า แป้งตาลโตนดมีความชื้นร้อยละ 7.45-7.50 และค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) มีค่า 0.26-0.28 วิจิตรและคณะ (2561) รายงานคุณค่าทางโภชนาการของผงตาลหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.84 และเกิดการลดลงของปริมาณเบต้าแคโรทีน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตเนื้อตาลผงเพื่อยืดอายุและเพิ่มการนำไปใช้ประโยชน์ด้วยการผสมกับไข่มุก ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มลักษณะด้านสีและกลิ่นรสให้กับไข่มุก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำแห้งเนื้อตาลด้วยวิธีทำแบบอบลมร้อนและการผลิตไข่มุกผสมเนื้อตาลผง



วิธีการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพเนื้อตาลสุก

คัดเลือกลูกตาลจากแหล่งปลูกใน จ. เพชรบุรี ที่มีความสุกเต็มที่เนื้อภายในมีสีเหลืองส้ม ผลของลูกตาลไม่มีการเน่าเสีย นำมาล้างให้สะอาด ปอกเปลือก ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำลูกตาลทั้งลูกไปยี้ผสมกับน้ำสะอาด ในอัตราส่วนลูกตาล 1 ส่วนต่อน้ำสะอาด 1 ส่วน ยีจนเส้นตาลเปลี่ยนเป็นสีขาวหรือเหลืองอ่อน ๆ จับเวลา 20 นาที จากนั้นนำเนื้อลูกตาลสุกที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น เพื่อแยกเอาเส้นใยออกและนำเนื้อตาลไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- 1.1 วัดความชื้น (Moisture content) ตามวิธี AOAC (2000)
- 1.2 วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) ด้วยเครื่อง Aqua lab (4TE, USA)
- 1.3 วัดค่า Total Soluble Solids ด้วยเครื่อง Digital hand-held refractometer (ATAGO, Master-M, Japan)
- 1.4 วัดค่าสี ด้วยระบบ CIE (L^* a^* b^*) ด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Flex 45/0, USA)
- 1.5 วัดค่าความหนืด ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (Thermofisher scientific, HAAKE MARS III, USA)
- 1.6 วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (Mettler Toledo, Sevencompact, Germany)
- 1.7 วัดปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) โดยการไทเทรตตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

มาตรฐานตามวิธี AOAC (2000)

2. การทำแห้งและการศึกษาคุณภาพตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการอบลมร้อน

นำลูกตาลที่ผ่านการเตรียมจากข้อ 1 น้ำหนัก 250 กรัม เทใส่ถาดขนาด 40 x 60 เซนติเมตร ทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุก 30 นาที เพื่อวัดค่าปริมาณความชื้นจนความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 12 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช), 2558) นำเนื้อตาลแห้งมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh (ไซเมพรและสุธาสินี, 2555) และนำไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้

- 2.1 วัดความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000)
- 2.2 วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ด้วยเครื่อง Aqua lab (4TE, USA)
- 2.3 วัดค่าสี ด้วยระบบ CIE (L^* a^* b^*)
- 2.4 คำนวณปริมาณผลผลิต [$\%Yield = (\text{ผลผลิตที่ได้} / \text{น้ำหนักเริ่มต้น}) \times 100$]
- 2.5 วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

2.6 ทดสอบความสามารถในการละลาย ดัดแปลงจาก Saikia et al. (2015) ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ละลายในน้ำ (อุณหภูมิห้อง) และน้ำร้อน (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เทส่วนใส (Supernatant) ใส่ถ้วยออลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแล้วและบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง นำออกมาทำเย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักถ้วยออลูมิเนียมหลังอบ นำมาคำนวณค่าร้อยละการละลาย

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = (\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)} / \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}) \times 100$$

3. ศึกษาการผลิตไข่มุกผสมตาลผง

3.1 กระบวนการผลิตไข่มุก

สูตรการผลิตไข่มุกได้จากการทดลองเบื้องต้น โดยการผลิตน้ำเชื่อมโดยผสมน้ำตาลทรายแดงร้อยละ 50 กับน้ำร้อยละ 75 ของน้ำหนักแป้ง จากนั้นนำไปให้ความร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที เพื่อละลายน้ำตาล แล้วนำไปนวดกับแป้งมันสำปะหลัง จนแป้งไม่ติดมือ นำมารีดเป็นแผ่นหนา 0.8 เซนติเมตร ปั่นเป็นก้อนกลม ด้วยพิมพ์กดไข่มุกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 เซนติเมตร จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที สังเกตการลอยตัวของไข่มุกและทำให้เย็นแบบน้ำไหลผ่านนาน 5 นาที



3.2 ศึกษาอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อตาลผึ่งที่เหมาะสมในการผลิตไข่มุก

นำแป้งมันสำปะหลังมาผสมกับตาลผึ่ง แปรปริมาณการเติมตาลผึ่งร้อยละ 0 2.5 5 7.5 และ 10 จากนั้นนำไปผลิตไข่มุกตามวิธี 3.1 จากนั้นนำตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

3.2.1 วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องทดสอบเนื้อสัมผัสด้วย Texture analyzer วิเคราะห์ด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) ใช้หัววัดทรงกระบอกขอบมน P/36R (บุศราภา, 2563)

3.2.2 วัดค่าสี ด้วยระบบ CIE (L^* a^* b^*)

3.2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 50 คน ประเมินความชอบด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้การประเมินแบบ 9-Point Hedonic Scale

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละทรีเมนต์โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาคุณภาพเนื้อตาลสุก

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อตาลสุกซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า เนื้อตาลสุกมีปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 91.55 ± 0.27 ค่า pH จัดอยู่ในอาหารประเภทกรดสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.5 และมีค่าปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.931 เนื้อตาลจัดเป็นอาหารในกลุ่มที่มีความชื้นสูงจึงมีผลต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นการลดปริมาณความชื้นในเนื้อตาลสุกจึงเป็นแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในเนื้อตาลสุกมีเท่ากับ 3.5°Brix ค่าความหนืดเท่ากับ 108.3 cPs และค่าสี L^* ค่า a^* และ b^* เท่ากับ 52.62, 22.85 และ 75.58 ตามลำดับ ค่าสีของเนื้อตาลสุกมีความแตกต่างจากผลการทดลองของ ภัทธิรา (2549) ซึ่งรายงานว่เนื้อตาลสุกมีค่าสี L^* a^* b^* เท่ากับ 60.41, 15.55 และ 37.27 ตามลำดับ แต่มีค่าสีใกล้เคียงกับงานวิจัยของ มนัสนันท์ และคณะ (2544) ที่รายงานค่า L^* a^* b^* ของเนื้อตาลสุกเท่ากับ 51.00, 31.71 และ 81.41 ตามลำดับ และ จินตนาและพรชนก (2560) รายงานค่า L^* a^* b^* เนื้อตาลสุกเท่ากับ 56.14, 26.52 และ 75.71 ตามลำดับ ความแตกต่างของค่าสีเนื้อตาลสุกอาจเกิดจากสายพันธุ์และระยะการสุกของตาล

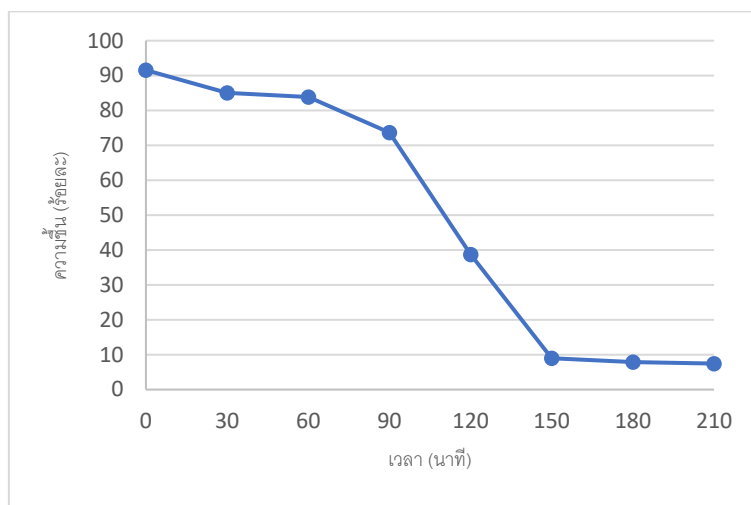
ตารางที่ 1 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อตาลสุก

คุณภาพทางเคมีและกายภาพ	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น (ร้อยละ)	91.55 ± 0.27
ปริมาณน้ำอิสระ	0.998 ± 0.001
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.50 ± 0.08
ค่าความเป็นกรดทั้งหมด (Total acidity)	0.931 ± 0.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Brix°)	3.50 ± 0.00
ค่าความหนืด (Viscosity, cPs)	108.3 ± 1.82
ค่าสี L^*	52.62 ± 0.12
a^*	22.85 ± 0.39
b^*	75.58 ± 4.19

หมายเหตุ: ค่า ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

2. ผลการทำแห้งและคุณภาพตาลผงบอบแห้งที่ทำแห้งด้วยวิธีการอบลมร้อน

กราฟการทำแห้ง (Drying curve) ของเนื้อตาลสุกอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 210 นาที แสดงดังภาพที่ 1 ค่าความชื้นของเนื้อตาลสุกตกลงเมื่อระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น และพบอัตราการแห้งอยู่ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงลดลงและช่วงคงที่ ซึ่งในช่วงแรกจะพบการลดลงของอัตราการแห้งที่ช้าเพราะในเนื้อตาลสุกมีปริมาณน้ำที่มาก จึงส่งผลให้มีอัตราการแห้งในช่วงแรกลดลงช้า อัตราการแห้งเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการอบแห้ง 90 นาที จึงถึงนาที่ที่ 150 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นหลังนาที่ที่ 150 เส้นกราฟการทำแห้งเริ่มคงที่ ระยะเวลาการทำแห้งที่ทำให้ความชื้นของตาลสุกตกลงต่ำกว่าร้อยละ 12 คือ นาที่ที่ 150 โดยตัวอย่างเนื้อตาลสุกมีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.01 ซึ่งอยู่ในช่วงการกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง (มผช., 2558) เพราะฉะนั้นระยะเวลาการทำแห้งที่เหมาะสมของเนื้อตาลสุกด้วยวิธีการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส คือเวลา 150 นาที



ภาพที่ 1 อัตราการทำแห้งของตาลผงบอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 210 นาที

ผลการวิเคราะห์คุณภาพตาลผงบอบแห้งที่ทำแห้งแบบลมร้อนแสดงดังตารางที่ 2 ผลตาลมีค่าความชื้นร้อยละ 9.01 ± 1.04 และค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.66 ± 0.03 ซึ่งการกำจัดน้ำด้วยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนจะทำให้ตาลสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อตาลสด ค่า pH ของตาลมีค่าเท่ากับ 3.5 ซึ่งค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่า pH ของเนื้อตาลสด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำแห้งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในตัวอย่าง ตาลผงบอบแห้งมีความสามารถในการละลายน้ำเย็นร้อยละ 47 และน้ำร้อนร้อยละ 57 ค่าสีของตาลมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 70.37 ± 0.06 , 12.52 ± 0.15 และ 48.02 ± 0.30 ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า ค่าสีของตาลมีความสว่างมากกว่า แต่ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อตาลสดที่มีค่า L^* , a^* และ b^* 52.62 ± 0.12 , 22.85 ± 0.39 และ 75.58 ± 4.19 ตามลำดับ การอบแห้งด้วยความร้อนส่งผลให้สารสีเหลืองในเนื้อตาลซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์เกิดการสลายตัว ส่งผลให้ค่าสีเหลืองลดลงและค่าความสว่างเพิ่มขึ้น การสลายตัวของแคโรทีนอยด์เกิดจากความร้อนและแสงซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้แคโรทีนอยด์เปลี่ยนจากรูปทรานส์ (Trans-form) ไปเป็นรูปซิส (Cis-form) (Dutta et al., 2005) Dutta et al. (2006) รายงานการลดลงของ β -carotene ร้อยละ 26 และ 62 หลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Lago-Vanzela et al (2013) รายงานการลดลงของ carotenes ร้อยละ 9-13 ในฟักทองแผ่นอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8-10 ชั่วโมง



ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของตาลผองอบแห้งด้วยลมร้อน

คุณภาพของตาลผอง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น (ร้อยละ)	9.01±1.04
ปริมาณน้ำอิสระ	0.662±0.03
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.35±0.01
ความสามารถในการละลาย (น้ำเย็น)	45.71±2.62
ความสามารถในการละลาย (น้ำร้อน)	57.26±0.86
ค่าสี L*	70.37±0.06
a*	12.52±0.15
b*	48.02±0.30

หมายเหตุ: ค่า ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

3. ผลการศึกษากระบวนการผลิตไข่มุกจากผงลูกตาล

การประยุกต์ใช้ตาลผองในผลิตภัณฑ์ไข่มุกโดยแปรปริมาณตาลผองร้อยละ 0-10 พบว่า ผงตาลส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่มุก (ตารางที่ 3) ค่าความแข็ง (Hardness) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณตาลผองเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ค่าความเหนียว (Adhesiveness) ซึ่งแสดงถึงการยึดติดของอาหารกับวัตถุอื่น ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่ตัวอย่างที่เติมตาลผองมีค่า Adhesiveness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่าความหนึบ (Gumminess) และค่าการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณการเติมตาลผองเพิ่มขึ้น การลดลงของค่าเนื้อสัมผัสเกิดจากผงตาลเข้าไปขัดขวางการเกิดเจลของแป้งมันสำปะหลัง การเจลาไทไนเซชัน (Gelatinization) ของเม็ดสตาร์ชเกิดจากการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อน ทำให้โมเลกุลของน้ำจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวและละลายน้ำ มีผลให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น (เขมจิราณัฐ, 2560; สุทธิณี, 2563) การเติมผงไข่มุกในถ้วยเตี่ยวเส้นเล็กส่งผลให้ค่าความแข็งของเส้นถ้วยเตี่ยวลดลงเมื่อปริมาณผงไข่มุกมากขึ้น เนื่องจากผงไข่มุกทำให้โครงสร้างของเจลในแป้งลดลง (ภาชนุมาศ, 2562) ซึ่งผลงานวิจัยนี้อาจแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณผงตาลอาจส่งผลให้ทำให้ปริมาณอะมิโลสลดลงและอาจส่งผลต่อการขัดขวางการเกิดเจลแป้ง ดังนั้นผลการขัดขวางการเกิดเจลแป้งมันสำปะหลังของผงตาลจึงทำให้เกิดเม็ดไข่มุกนุ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ค่าเนื้อสัมผัส (Texture profile) ของไข่มุกผสมตาลผอง

ปริมาณตาลผอง (ร้อยละ)	ค่าเนื้อสัมผัส (Texture profile) ของไข่มุก			
	Hardness	Adhesiveness	Gumminess	Chewiness
0	130.11±21.32 ^a	-50.20±28.72 ^b	120.43±29.48 ^a	123.03±72.01 ^b
.5	83.32±6.70 ^b	-0.50±0.32 ^a	80.99±8.41 ^b	168.57±62.71 ^a
5	74.02±6.16 ^b	-5.98±5.08 ^a	70.86±6.18 ^b	98.41±4.20 ^{ab}
7.5	59.97±5.13 ^c	-12.17±7.64 ^a	53.87±3.81 ^c	52.30±5.99 ^b
10	63.32±3.76 ^c	-7.02±3.41 ^a	56.94±3.47 ^c	64.96±19.29 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่า ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าการวิเคราะห์ 30 ครั้ง



จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของไข่มุกผสมตาลผงบดงดงตารางที่ 4 พบว่า อัตราส่วนของตาลผงบดงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า L^* a^* และ b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และจากค่าความแตกต่างของสีไข่มุกเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ΔE) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของตาลผงบดงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้น ไข่มุกผสมตาลผงบดงมีความสว่างมากขึ้น ค่าความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับผลการเติมตาลผงบดงในแป้งซูร์ซึ่งพบว่า การเติมตาลผงบดงมากขึ้นส่งผลให้แป้งซูร์ภายหลังการอบมีค่า L^* ลดลง แต่ a^* และ b^* เพิ่มขึ้น เนื่องจากเนื้อตาลผงบดงประกอบที่มีสีเหลืองจากเบต้าแคโรทีน (ลินจงและคณะ, 2562) วิจิตร และคณะ (2561) รายงานเนื้อตาลผงบดงปริมาณเบต้าแคโรทีน 0.29 มิลลิกรัม/100 กรัม และผงตาลที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณเบต้าแคโรทีน 0.10 มิลลิกรัม/100 กรัม ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อตาลผงบดงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสับปะรดมากขึ้น (แสงแข, 2562) จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณตาลผงบดงทำให้ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าสี L^* a^* b^* และ ΔE ของไข่มุกผสมตาลผงบดง

ปริมาณตาลผงบดง (ร้อยละ)	ค่าสีของไข่มุกผสมตาลผงบดง			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	22.6575±0.50 ^d	3.8000±0.60 ^c	14.4625±0.93 ^e	-
2.5	23.7525±0.06 ^c	3.8700±0.80 ^c	18.1800±0.75 ^d	2.30
5	26.1650±0.26 ^b	5.5900±0.30 ^b	21.4875±0.35 ^c	4.75
7.5	26.6700±0.04 ^a	8.1775±0.09 ^a	23.9250±0.48 ^b	6.69
10	27.0100±0.06 ^a	8.6325±0.26 ^a	27.5325±0.33 ^a	7.44

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่า $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าการวิเคราะห์ 15 ครั้ง

การทดสอบทางประสาทสัมผัสไข่มุกผสมตาลผงบดงโดยใช้ผู้ทดสอบชิม 50 คน แสดงดังตารางที่ 5 ทำการประเมินความชอบต่อลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale ผลการทดสอบ พบว่า ลักษณะปรากฏมีค่าคะแนนความชอบ 5.84-7.14 สีมียค่าคะแนนความชอบ 4.96-7.1 กลิ่นมีค่าคะแนนความชอบ 5.64-6.02 รสชาติมีค่าคะแนน 6.38-6.74 เนื้อสัมผัสมีค่าคะแนนความชอบ 6.64-7.00 ส่วนความชอบโดยรวมมีค่าคะแนน 6.38-7.1 การผสมตาลผงบดงร้อยละ 2.5-10 ส่งผลให้ไข่มุกได้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในทุกลักษณะอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (ค่าคะแนน 6-7) ยกเว้นค่าคะแนนด้านกลิ่นที่อยู่ในเกณฑ์ชอบเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย (คะแนน 5-6) ไข่มุกผสมตาลผงบดงมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($P \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมตาลผงบดงในไข่มุกมีผลให้ค่าคะแนนความชอบของผู้ทดสอบเพิ่มมากขึ้น ลักษณะปรากฏและสีของไข่มุกอาจเป็นผลมาจากสีเหลืองของตาลผงบดง และยังส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสซึ่งจะเห็นได้ว่าการเติมตาลผงบดงมีผลให้ค่าความหนืดของไข่มุกลดลง และมีลักษณะนุ่มขึ้น (ตารางที่ 3) เมื่อพิจารณาความชอบโดยรวมพบว่าตัวอย่างไข่มุกผสมตาลผงบดงที่ได้คะแนนความชอบรวมสูงสุด คือการเติมตาลผงบดงร้อยละ 7.5



ตารางที่ 5 ค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไข่มุกผสมตาลผง

ค่าคะแนนการทดสอบประสาทสัมผัสของไข่มุกผสมตาลผง						
ปริมาณตาลผง (ร้อยละ)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
0	5.84±1.62 ^c	4.96±1.55 ^c	5.64±1.23	6.38±1.45	6.64±1.35 ^{ab}	6.38±1.23 ^b
2.5	6.52±1.37 ^b	6.44±1.39 ^b	5.94±1.54	6.74±1.20	7.00±1.31 ^a	6.72±1.20 ^{ab}
5	6.42±1.60 ^{bc}	6.22±1.38 ^b	5.90±1.53	6.12±1.61	6.28±1.46 ^b	6.36±1.26 ^b
7.5	7.14±1.30 ^a	7.10±1.45 ^a	6.02±1.76	6.74±1.32	6.74±1.31 ^{ab}	7.10±1.25 ^a
10	6.84±1.41 ^{ab}	6.66±1.68 ^{ab}	5.58±1.70	6.42±1.71	6.52±1.62 ^{ab}	6.69±1.29 ^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95
ค่า ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าการทดสอบของผู้ทดสอบชิม 50 คน

สรุปผลการวิจัย

การผลิตตาลผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 150 นาที ทำให้ได้ตาลผงที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน การประยุกต์ใช้ตาลผงในการผลิตไข่มุก พบว่าตาลผงส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีและค่าเนื้อสัมผัสของไข่มุก และมีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส การผลิตไข่มุกผสมตาลผงร้อยละ 7.5 ได้รับคะแนนชอบชอบด้านประสาทสัมผัสสูงสุด งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการผลิตตาลผงและการใช้ประโยชน์ในการผลิตเม็ดไข่มุกและยังสามารถนำไปพัฒนาเป็นเม็ดไข่มุกสำเร็จรูปได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เชมจิราณัฐ ชัชวาล. (2560). การดัดแปรสสารเข้มข้นสำหรับหลังด้วยวิธีการคั่วในภาชนะแบบเปิด [วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร]
- จินตนา วิบูลย์ศิริกุล และพรชนก ชัยชนะ. (2560). คุณภาพเนื้อตาลสุกที่ผ่านการให้ความร้อน. เพชรบุรี: สาขาวิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- ชไมพร เพ็งมาก และสุธาสินี ศรีวิไล. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยจากแป้งตาลโตนด. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.
พระนคร ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5 (น. 93-105.)
- ดวงกมล โลหะศรีสกุล. (2562, 7 มกราคม). ไข่มุกสูตรธุรกิจจากไข่มุกสัญชาติไทย KAMA มัดใจลูกค้ามานาน 8 ปี เสิร์ฟคุณภาพ
คับแก้ว. https://www.sentangsedtee.com/exclusive/article_99165
- บุญมา นิยมวิทย์ และพยอม อรรถวิบูลย์กุล (2547). ผลิตภัณฑ์จากลูกตาล. วารสารอาหาร, 34(4), 272-276.
- บุศราภา ลีละวัฒน์, รัฐนันท์ ตีลกุล และมนัสนันท์ ใบคุณากร (2563). การพัฒนาเม็ดไข่มุกจากข้าวเจ้า. วารสารวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี, 28, 455-465.



- ภัทริรา เลิศปงคพ. (2549). การศึกษาวิธีการเก็บรักษาเนื้อตาลสุกโดยการลดค่า Aw ร่วมกับการแช่แข็งเพื่อใช้ในการทำขนมตาล [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ ธุรกิจอาหาร, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ].
- ภาณุมาศ ทองคำ. (2562). ผลของอุณหภูมิต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในไข่ผ่าหั่นและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี]
- มนัสนันท์ บุญทราพงศ์, กมลวรรณ แจ่มชัด, อนุวัตร แจ่มชัด และวิชัย หุทัยธนาสันต์. (2544). การศึกษาคุณภาพของเนื้อตาลสุกและขนมตาลที่ผลิตจากเนื้อตาลสุกผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขนครั้งที่ 39.
- ลินจง สุขลำภู, จุฑามาศ เพชรรอด และปณิธาน มุฮัมหมัด. (2562). ผลของการเติมเนื้อตาลผงต่อคุณภาพของซูครีม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57 (น. 780-787.)
- วิจิตรา เหลียวตระกูล, ขนิษฐา กรมศรี และปริญญ์ นาควงษ์. (2561). ผลของผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของขนมตาล. สมุทราการ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2555). K-SME Analysis ธุรกิจขนมไข่มุก จากใต้หวัน. <https://oweera.blogspot.com/2012/05/k-sme-analysis.html>.
- สุทธินิ สีสังข์. (2563). คุณสมบัติของแป้งที่มีผลการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: กองวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง.
- แสงแข สพันธุ์พงศ์. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อตาลสุกหยาบ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี, 8(2), 292-302.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2558). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of AOAC international*. (17th ed.). Washington, DC.: Association of Official Analytical Chemists.
- Dutta, D., Chaudhuri, U. R. and Chakraborty, R. (2005). Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. *African Journal of Biotechnology*, 4, 1510-1520.
- Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri, U. and Chakraborty, R. (2006). Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 538-546.
- Lago-Vanzela, E. S., do Nascimento, P., Fontes, E. A. F., Mauro, M. A. and Kimura, M. (2013). Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 420-425.
- Saikia, S., Mahnot, N. K. and Mahanta, C. L. (2015). Effect of spray drying of four fruit juices on physicochemical, phytochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1656-1664.
- Yenrina, R., Nazir, N. and Ulfa, P. (2016). Characteristics of jelly powder of sugar palm fruit (*Arengapinnata*, Merr) and seaweed (*Euchumacottonii*). *International Journal of Advanced Research*, 4(4), 916-921.
- Wongsawat, N. (2020, May 15). ไม่ว่าโลกหลังโควิดจะเป็นอย่างไร แต่ “ตลาดขนมไข่มุก” จะโตขึ้นอีก 2 เท่า ทะลุ 150,000 ล้านบาท. <https://www.billionway.co/bubble-tea-market/i>, F. (2000). Antimicrobial activity of crude extracts and pure compounds of *Hypericum hircinum*. *Fitoterapia*, 71, 138-140.



- Ramu, R., Shirahatti, P., Zameer, F., Ranganatha, L. and Prasad, M. (2014). Inhibitory effect of banana (*Musa sp. var. Nanjangud rasa bale*) flower extract and its constituents Umbelliferone and Lupeol on glucosidase, aldose reductase and glycation at multiple stages. *South African Journal of Botany*, 95, 54-63.
- Scherrer, R. and Gerhardt, P. (1971). Molecular sieving by the *Bacillus megaterium* cell wall and protoplast. *Journal of Bacteriology*, 107, 718-735.
- Westh, H., Zinn, C. S. and Rosdahl, V. T. (2004): An international multicenter study of antimicrobial consumption and resistance in *Staphylococcus aureus* isolates from 15 hospitals in 14 countries. *Microbial Drug Resistance*, 10, 169-176.