

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแก่นตะวัน ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

Bioactive Compound and Antioxidant Activity of Sunchoke (*Helianthus tuberosus* L.) at Different Harvest Times

สุรียา ทุดปอ และจิตรา สิงห์ทอง

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

Email: jittra.w@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวันสายพันธุ์เบอร์ 2 ที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน คือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี พบว่าแก่นตะวันมีสารฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วง 2.49 ถึง 4.44 mg GAE/g ตัวอย่างสด สำหรับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่าแก่นตะวันมีปริมาณฟลาโวนอยด์อยู่ในช่วง 21.06 ถึง 195.30 mg QE/g ตัวอย่างสด เมื่อเปรียบเทียบการสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน พบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดตามมาด้วยการสกัดด้วยเอทานอล และอะซิโตน ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซึ่งวิเคราะห์ทั้งหมด 4 วิธี คือ กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH, ABTS, Reducing power และ Ion-Chelating capacity พบว่าแก่นตะวันทั้งหมดมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีผลที่แปรผันตรงกับปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด คือ แก่นตะวันที่มีองค์ประกอบของสารทั้ง 2 ชนิดสูงจะมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดี และจากการทดลองพบว่าแก่นตะวัน 20 สัปดาห์ มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด

คำสำคัญ : แก่นตะวัน สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The Sunchoke or Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers were harvested 14, 16, 18 and 20 weeks after planting at Ubon Ratchathani province, Thailand. This work investigated bioactive compounds and antioxidant activities of Sunchoke harvested at different times after planting and prepared by infusion with water, ethanol and acetone. The study of bioactivity of Sunchoke revealed that the extraction with water was appropriate application. Phenolic content ranged from 2.49 to 4.44 mg GAE/g sample. Flavonoid content ranged from 21.06 to 195.30 mg QE/g sample. It was found that Sunchoke water extract showed the highest total phenolic and flavonoid contents. Antioxidant activities of all three extracts were evaluated using DPPH, ABTS, reducing power and ion-chelating capacity assays. Sunchoke water extract displayed the highest antioxidant activities. An increase in bioactive compound and antioxidant activity was observed for late-harvested (20 weeks) tubers. Therefore, 20 weeks seem to be the optimum harvest time for locally grown Sunchoke on the basis of the amounts of high bioactive compound and antioxidant activity.

Keywords: Sunchoke or Jerusalem artichoke; Bioactive compound; Antioxidant activity

บทนำ

แก่ตะวัน (Jerusalem artichoke หรือ Sunchoke) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Helianthus tuberosus* L. หรือ หัวบัวตอง เป็นพืชตระกูลเดียวกับทานตะวัน มีดอกสีเหลืองคล้ายดอกบัวตองแต่มีขนาดเล็ก แก่นตะวัน มีหัว (tuber) รูปร่างคล้ายขิง เปลือกเป็นผิวสีน้ำตาล เนื้อในมีสีขาว เนื้อแก่นตะวันสดมีความกรอบคล้ายหัวคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักในหัวแก่นตะวัน ซึ่งคาร์โบไฮเดรตที่พบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอินนูลินโดยเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลฟรุกโตสและจัดเป็นใยอาหารที่ระบบย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์ของมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้หรือย่อยได้น้อย [1] นอกจากนั้นแล้วแก่นตะวันยังถือว่าเป็นพืชที่ดีต่อสุขภาพเนื่องจากมีสารอาหาร เช่น โปรตีน แร่ธาตุ ใยอาหาร และมีไขมันต่ำ เป็นต้น [2] รวมทั้งมีองค์ประกอบของสารพฤกษเคมี เช่น ฟีนอลิก และ ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น [3]

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) คือสารจากสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีต้องเป็นสารที่มีผลจำเพาะเจาะจง เช่น มีฤทธิ์จำเพาะต่อเซลล์มะเร็ง มีฤทธิ์จำเพาะต่อเชื้อไวรัสโรค เป็นต้น และสารนั้นจะต้องไม่มีผลในทางลบต่อร่างกาย หรือมีผลข้างเคียงน้อย [4] จากการศึกษาของ รัชนิและอภิชาติ [5] พบว่าสาเหตุของโรคเรื้อรังต่างๆ ปกติร่างกายมีกลไกในการป้องกันโดยอาศัยการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกายแต่ยังไม่เพียงพอและมีขีดจำกัด ประกอบกับเมื่ออายุมากขึ้นร่างกายสร้างสารต้านอนุมูลอิสระได้น้อย จึงควรได้รับจากภายนอกโดยการรับประทานอาหารที่อุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังพบว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นองค์ประกอบของสารอาหารที่มีความพิเศษ (Extranutritional) ที่มีปริมาณน้อยในอาหาร มีการค้นพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจำนวนมากซึ่งสารเหล่านี้มีโครงสร้างทางเคมีและหน้าที่แตกต่างกัน [6] รวมทั้ง Burn และคณะ [7] พบว่าสารฟีนอลิกเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง และมีผลต่อการลดระดับคอเลสเตอรอล แล้วจึงมีงานวิจัยพบว่าสารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ [8]

จากการศึกษาระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและอุณหภูมิในการเก็บเกี่ยวแก่นตะวันต่อปริมาณสารอินนูลิน พบว่า แก่นตะวันที่ยาว 18 สัปดาห์ มีปริมาณอินนูลินสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอายุที่ 16 และ 20 สัปดาห์ [9] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาแก่นตะวันสายพันธุ์เบอร์ 2 พบว่ามีปริมาณโพลีฟรุคแทน และโอลิโกฟรุคแทนเทียบกับปริมาณฟรุคโตสสมมูลที่ค่อนข้างสูง แสดงถึงปริมาณอินนูลินที่มีสูงด้วย [2] สำหรับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแก่นตะวันยังไม่มีการระบุอย่างชัดเจนว่าแก่นตะวันที่ยาวเท่าไรที่มีปริมาณสารเหล่านี้มากที่สุด แต่ได้มีการศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในแก่นตะวันโดยใช้ HPLC และ LC-MS พบว่า แก่นตะวันมีองค์ประกอบของสารฟีนอลิก ได้แก่ neo-chlorogenic acid, chlorogenic acid, crypto-chlorogenic acid, 3,5-dicaffeoylquinic acid, 3,4-dicaffeoylquinic acid, 4,5-dicaffeoylquinic acid และ 1,3-dicaffeoylquinic acid [10] ซึ่งเป็นสารกลุ่มเดียวกันกับที่ Gil-Izquierdo และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในแก่นตะวัน ดังนั้นในการศึกษครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวันที่มีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน เพื่อให้ทราบอายุการเจริญเติบโตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด งานวิจัยนี้น่าจะเป็นแนวทางในการต่อยอดงานวิจัยและพัฒนาแก่นตะวัน เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบให้เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นและเป็นการนำผลิตภัณฑ์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัตถุดิบ (แก่นตะวัน)

แก่นตะวัน พันธุ์เบอร์ 2 ที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ จากวิสาหกิจชุมชนศรีอุดมก้าวหน้า เลขที่ 88 ต.นาหมอม อ.ทุ่งศรีอุดม จ.อุบลราชธานี เก็บวัตถุดิบในถุงโพลีเอทิลีน [11] ที่อุณหภูมิ 5°C [2]

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ของแก่นตะวัน

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ของแก่นตะวัน ตามวิธีของ AOAC [13] ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต

วิธีการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแก่นตะวัน

วิธีการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแก่นตะวัน โดยตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน ดัดแปลงจากวิธีการของ Jung และคณะ [14] ล้างและปอกเปลือกแก่นตะวันสด 50 กรัม แล้วนำมาบดให้ละเอียด จากนั้นสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน 80 มิลลิลิตรและเก็บไว้ในที่มืด 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำส่วนที่กรองได้ไปเจือจางด้วยน้ำ เอทานอล และอะซิโตนให้เป็น 100 มิลลิลิตร เก็บสารละลายตัวอย่างในขวดสีชาไว้ที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกในแก่นตะวัน

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกในแก่นตะวันโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงตามวิธีการของ Miliuskas และคณะ [15] เจือจางสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ให้มีความเข้มข้น 100, 250, 500, 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 2 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำ เอทานอล และ อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ปิเปตสารตัวอย่างมา 20 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองในแต่ละความเข้มข้น เติมสารละลายของ Folin-Ciocalteu reagent เจือจาง 10 เท่า 100 ไมโครลิตรในแต่ละหลอด เติมสารละลาย 2% Na_2CO_3 80 ไมโครลิตร นำไปเขย่าด้วย vortex ให้สารผสมเข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เทียบกับสารมาตรฐาน Gallic acid คำนวณเป็น mg GAE/100 g sample

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ในแก่นตะวัน

การศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ในแก่นตะวันดัดแปลงตามวิธีการของ Pourmorad และคณะ [16] นำสารละลายตัวอย่าง 0.3 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเอทานอล 1.7 มิลลิลิตร เติม 10% aluminium chloride 0.1 มิลลิลิตร ตามด้วย 1 M potassium acetate 0.1 มิลลิลิตร และน้ำ

กลั่น 2.8 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานของสาร Quercetin

การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวัน

วิธี DPPH radical scavenging activity ดัดแปลงตาม

วิธีการ Yamaski และคณะ [17]

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 100 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายของ DPPH ในเอทานอล 100 ไมโครลิตร นำไปเขย่าให้สารผสมเข้ากันดี ตั้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร นำค่าที่อ่านได้เทียบกับสารมาตรฐาน Trolox คำนวณ Radical-scavenging activity

$$(\%) = [(B-A)/B] \times 100$$

เมื่อ A = ค่าความยาวคลื่นของตัวอย่าง B = ค่าความยาวคลื่นของ Blank

วิธี ABTS radical scavenging activity ดัดแปลงตามวิธีของ Rahman และคณะ [18]

โดยปิเปตสาร ABTS เจือจาง 6 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัดจากตัวอย่าง 20 ไมโครลิตรจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร นำค่าที่อ่านได้เทียบกับสารมาตรฐาน Trolox

คำนวณ Radical-scavenging activity

$$(\%) = [(B-A)/B] \times 100$$

เมื่อ A = ค่าความยาวคลื่นของตัวอย่าง B = ค่าความยาวคลื่นของ Blank

วิธี Reducing Power ดัดแปลงตามวิธีการของ Singh และ Rejini [19]

นำสารละลายมาตรฐาน gallic acid หรือส่วนสกัดที่ละลายในเอทานอลปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับ phosphate buffer ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และ 1% $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติม 10% trichloroacetic acid ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 90 xg นาน 10 นาที และเก็บสารละลายส่วนบน ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร และสารละลาย 0.1% FeCl_3 ปริมาตร 0.5

มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร แสดงค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฉลี่ย ในรูปมิลลิกรัมของกรดแกลลิก (GAE) ต่อส่วนสกัด 1 กรัมสารสกัดโดยคำนวณจากกราฟมาตรฐานของกรด แกลลิก

วิธี Ion-Chelating capacity ตัดแปลงตามวิธีการของ Kosem และคณะ [20]

นำตัวอย่างที่สกัดได้ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมกับ FeCl_2 ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Ferrozine ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่ อุณหภูมิห้อง 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว คลื่น 562 นาโนเมตร โดยใช้ EDTA เป็นสารมาตรฐาน

คำนวณร้อยละ การยับยั้งการเกิด

สารประกอบเชิงซ้อน ferrozine- Fe^{2+} จากสมการ

$$\% \text{ Chelating} = (A_{\text{มาตรฐาน}} - A_{\text{ทดสอบ}}) / A_{\text{มาตรฐาน}} \times 10$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบความแตกต่างของสิ่ง ทดลองโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistic Package for Social Science (SPSS)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่อ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวัน โดยใช้แก่นตะวันพันธุ์เบอร์ 2 ที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันคือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน และศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ 2 ชนิด คือสารฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ โดยใช้การสกัดแก่นตะวันด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำเอทานอล และอะซิโตน นอกจากนี้ยังศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวัน ซึ่งมี 4 วิธีคือ DPPH radical scavenging activity,

ABTS radical scavenging activity, Reducing power และ Ion-Chelating capacity

1. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่อ องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบด้วย ความชื้น เถ้า เยื่อใย โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ผลแสดงดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าในแก่นตะวันสดมีองค์ประกอบของน้ำในปริมาณมากทำให้มีความชื้นสูงโดยพบว่าแก่นตะวัน 14 สัปดาห์ มีความชื้นสูงที่สุดถึงร้อยละ 80.08 ± 0.41 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ แก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 16 สัปดาห์ที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 80.04 ± 0.40 ตามมาด้วยแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 18 สัปดาห์ร้อยละ 76.50 ± 0.67 และ 20 สัปดาห์ ร้อยละ 75.70 ± 0.40 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะมีความชื้นลดลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lutz *et al.* (2011) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแก่นตะวันอ่อนที่มีความยาวของหัวแก่นตะวันอยู่ที่ 4.5 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับแก่นตะวันแก่ที่มีความยาวของหัวแก่นตะวันอยู่ที่ 11 เซนติเมตร พบว่าแก่นตะวันแก่มีความชื้นต่ำกว่าแก่นตะวันอ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็นการยืนยันว่าเมื่อแก่นตะวันมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมากขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลง ในขณะที่ปริมาณเถ้าของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติคืออยู่ในช่วงร้อยละ 1.13 ± 0.12 - 1.28 ± 0.10 สำหรับปริมาณเยื่อใยของแก่นตะวัน 20 สัปดาห์ มีปริมาณสูงที่สุด คือร้อยละ 3.68 ± 0.21 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangtongpinit และคณะ [9] ที่ศึกษาระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณสารอินนูลินในแก่นตะวันที่พบว่าแก่นตะวัน 18 และ 20 สัปดาห์ มีปริมาณอินนูลินสูงซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับปริมาณโปรตีนพบว่า เมื่อแก่นตะวันมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนลดลง โดยแก่นตะวัน 14 สัปดาห์ มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดคือร้อยละ 2.93 ± 0.07 ซึ่งไม่แตกต่างจาก 16 สัปดาห์ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแก่นตะวัน 18 และ 20 สัปดาห์ ซึ่งมี

แนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณไขมันพบว่าเมื่อแก่จนวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะมีปริมาณไขมันที่ลดลง โดยแก่จนวันที่ 14 สัปดาห์ มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 0.37±0.04 ในขณะที่แก่จนวันที่ 20 สัปดาห์ มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดคือร้อยละ 0.16±0.04 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต จากการศึกษาพบว่าเมื่อแก่จนวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมากขึ้นส่งผลให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้น เนื่องจากแก่จนวันที่พืชที่สะสมอาหารไว้ที่ราก ดังนั้นเมื่อมีอายุมากขึ้นจึงสามารถเก็บอาหารไว้ได้มากขึ้น โดยสารอาหาร

ที่พบในแก่จนวันที่ส่วนใหญ่คือคาร์โบไฮเดรตโดยพบในแก่จนวันที่ 20 สัปดาห์ สูงที่สุดคือร้อยละ 17.36±0.60 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแก่จนวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 14, 16 และ 18 สัปดาห์ ซึ่งจากผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lutz และคณะ [21] ที่พบว่าแก่จนวันที่อายุมากขึ้นจะมีความชื้น ไขมันและ โปรตีนลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นเมื่อแก่จนวันที่มีอายุมากขึ้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแก่จนวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

องค์ประกอบเคมี(wb)	แก่จนวันที่ 14 สัปดาห์ (ร้อยละ)	แก่จนวันที่ 16 สัปดาห์ (ร้อยละ)	แก่จนวันที่ 18 สัปดาห์ (ร้อยละ)	แก่จนวันที่ 20 สัปดาห์ (ร้อยละ)
ความชื้น	80.07±0.41 ^a	80.04±0.40 ^a	76.50±0.67 ^b	75.70±0.40 ^c
เถา	1.17±0.05 ^a	1.28±0.10 ^a	1.13±0.12 ^a	1.21±0.06 ^a
เยื่อใย	3.19±0.25 ^b	3.40±0.15 ^b	3.59±0.28 ^a	3.68±0.21 ^a
โปรตีน	2.93±0.07 ^a	2.91±0.04 ^a	2.53±0.18 ^b	2.49±0.15 ^b
ไขมัน	0.37±0.04 ^a	0.26±0.09 ^{ab}	0.20±0.01 ^b	0.16±0.03 ^b
คาร์โบไฮเดรต	12.30±0.25 ^c	12.04±0.55 ^c	14.66±0.75 ^b	17.36±0.60 ^a

^{a-c} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

N=3

2. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแก่จนวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันและใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือน้ำ เอทานอล และอะซิโตน พบว่าผลการทดลองในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในแก่จนวันที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Domingo และคณะ [22] ซึ่งศึกษาพบว่าในแก่จนวันที่มีสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ และพบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดทำให้ได้ปริมาณสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด

2.1 สารฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของแก่จนวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน คือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ แสดงค่าเป็นหน่วย mg Gallic acid equivalent/g ตัวอย่างสด โดยใช้ตัวทำละลายใน

การสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือน้ำ เอทานอล (95% Ethanol) และ อะซิโตน (Acetone) ผลแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าแก่จนวันที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแก่จนวันที่สกัดด้วยเอทานอลและอะซิโตน เนื่องจากฟีนอลิกเป็นสารที่มีขั้ว ดังนั้นเมื่อใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วแตกต่างกันจึงได้ปริมาณฟีนอลิกที่แตกต่างกัน ซึ่งน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้สูง เช่นเดียวกับเอทานอล แต่เอทานอลมีความเป็นขั้วต่ำกว่าน้ำ ส่วนอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วแต่ไม่มีไฮโดรเจนที่แตกตัวได้ทำให้ความสามารถในการสกัดฟีนอลิกต่ำกว่าตัวทำละลายที่กล่าวในข้างต้น [23] โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในแก่จนวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วง 2.4937±0.0826 ถึง 4.4360±0.1299 mg GAE/g ตัวอย่างสด และยังพบว่าแก่จนวันที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

20 สัปดาห์ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน คือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ ที่สกัดด้วยน้ำ พบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 18 และ 20 สัปดาห์มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างจากแก่นตะวันที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 14 และ 16 สัปดาห์ โดยแก่นตะวันที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ส่วน

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแก่นตะวันที่สกัดด้วยเอทานอลและอะซิโตน มีแนวโน้มเหมือนกันกับแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำ คือ แก่นตะวัน 20 สัปดาห์มีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด และผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lutz และคณะ [21] คือแก่นตะวันที่อายุมากขึ้นจะมีปริมาณฟีนอลิกสูงขึ้น

ตารางที่ 2 ปริมาณสารฟีนอลิกของแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

แก่นตะวัน	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg Gallic acid equivalent/g ตัวอย่างสด)		
	น้ำ	95% ethanol	Acetone
14 สัปดาห์	3.90±0.09 ^{bA}	3.49±0.11 ^{bcB}	2.90±0.16 ^{bcC}
16 สัปดาห์	3.84±0.13 ^{bA}	3.37±0.02 ^{bB}	2.49±0.08 ^{cC}
18 สัปดาห์	4.22±0.18 ^{aA}	3.63±0.03 ^{aB}	3.54±0.55 ^{aC}
20 สัปดาห์	4.44±0.13 ^{aA}	3.97±0.11 ^{aB}	3.79±0.18 ^{aC}

^{a-c} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

^{A-C} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในแถวเดียวกัน

N=3

2.2 สารฟลาโวนอยด์

การศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน คือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ ซึ่งแสดงค่าเป็นหน่วย mg Quercetin equivalent/g ตัวอย่างสด ผลแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของแก่นตะวันที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 21.06±3.57 ถึง 195.30±6.35 mg QE/g ตัวอย่างสด โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าแก่นตะวันที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแก่นตะวันที่สกัดน้ำมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุดคือ 133.76±6.95 ถึง 195.30±6.35 mg QE/g ตัวอย่างสด เนื่องจากฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีขี้และสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าในตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ และรองลงมาคือแก่นตะวันที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณฟลาโวนอยด์

เท่ากับ 41.19±1.39 ถึง 72.60±3.80 mg QE/g ตัวอย่างสด และแก่นตะวันที่สกัดด้วยอะซิโตน มีปริมาณฟลาโวนอยด์น้อยที่สุดคือเท่ากับ 21.06±3.57 ถึง 27.09±3.11 mg QE/g ตัวอย่างสด สารฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีขี้ ดังนั้นเมื่อนำมาสกัดจึงได้ปริมาณฟลาโวนอยด์สูง เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขี้สูงและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้สูง เช่นเดียวกับเอทานอล แต่เอทานอลมีความเป็นขี้ต่ำกว่าน้ำ ส่วนอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่มีขี้แต่ไม่มีไฮโดรเจนที่แตกตัวได้ทำให้ความสามารถในการสกัดฟีนอลิกต่ำกว่าตัวทำละลายที่กล่าวในข้างต้น [23] และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ของแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันคือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ พบว่าแก่นตะวันที่ระยะการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากสารฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของสารฟีนอลิก

ตารางที่ 3 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

แก่นตะวัน	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg Quercetin equivalent/g ตัวอย่างสด)		
	น้ำ	95% ethanol	Acetone
14 สัปดาห์	133.76±6.95 ^{aA}	41.19±1.39 ^{bcB}	21.06±3.57 ^{aC}
16 สัปดาห์	146.19±5.92 ^{bcA}	44.76±3.51 ^{cB}	23.50±3.05 ^{aC}
18 สัปดาห์	156.83±4.89 ^{ba}	48.37±2.78 ^{bB}	24.65±2.40 ^{aC}
20 สัปดาห์	195.30±6.35 ^{aA}	72.60±3.80 ^{aB}	27.09±3.11 ^{aC}

^{a-c} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

^{A-C} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในแถวเดียวกัน

N=3

3. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน และใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิดคือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน ซึ่งการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระประกอบด้วย 4 วิธี คือ DPPH radical scavenging activity, ABTS radical scavenging activity, Reducing power และ Ion-Chelating capacity โดยผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งพบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 4 วิธีข้างต้นมีค่าสูงที่สุด

3.1 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวัดค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน คือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ แสดงค่าเป็นร้อยละ (%) ของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน แสดงดังตารางที่ 4 ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของแก่นตะวันมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 43.21±0.003 ถึง 61.91±0.05 พบว่าแก่นตะวันทั้ง 4 ระยะการเก็บเกี่ยวมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำ เอทานอล และอะซิโตน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โดยพบว่าแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ตามมาด้วยเอทานอล และอะซิโตนตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ ที่พบว่าแก่นตะวันที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดมีปริมาณสูงที่สุด เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายมีขั้วและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้ทำให้มีความสามารถในการสกัดสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารที่ขั้ว [23] โดยสารทั้ง 2 ชนิดนี้จัดเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ [8] และเมื่อเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันพบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ซึ่งมีผลในการทำนองเดียวกันกับปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดนี้จัดเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ และสัมพันธ์กับงานวิจัยของ Lutz และคณะ [21] ที่พบว่าแก่นตะวันแก่ (มีความยาวของหัวแก่นตะวัน 11 เซนติเมตร) มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดนอกจากนี้ยังพบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 18 และ 20 สัปดาห์ ที่สกัดด้วยน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างจากแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 14 และ 16 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีผลในการทำนองเดียวกันกับแก่นตะวันที่สกัดด้วยเอทานอลและอะซิโตน

ตารางที่ 4 DPPH radical scavenging activity (%) ของแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

แก่นตะวัน	DPPH radical scavenging activity (%)		
	น้ำ	95% ethanol	Acetone
14 สัปดาห์	53.54±0.005 ^{bcA}	49.21±0.004 ^{bB}	43.21±0.003 ^{bC}
16 สัปดาห์	55.70±0.002 ^{bA}	52.24±0.002 ^{abB}	47.33±0.006 ^{bC}
18 สัปดาห์	57.29±0.003 ^{abA}	54.83±0.007 ^{aB}	52.09±0.003 ^{aB}
20 สัปดาห์	61.91±0.05 ^{aA}	60.17±0.008 ^{aB}	53.25±0.008 ^{aC}

^{a-c} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

^{A-C} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในแถวเดียวกัน

N=3

3.2 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS

การวัดค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS) ของแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน คือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ แสดงค่าเป็นร้อยละ (%) ของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS) โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน ผลแสดงดังตารางที่ 5 ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS อยู่ในช่วงร้อยละ 33.18±0.06 ถึง 65.13±0.06 พบว่าแก่นตะวันทั้ง 4 ระยะการเก็บเกี่ยวมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูล ABTS ได้ จากการศึกษพบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ที่สกัดด้วย น้ำ มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายมีขั้วและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้ทำให้มีความสามารถในการสกัดสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารที่มีขั้ว [23] ตามมาด้วยเอทานอล และอะซิโตน ตามลำดับ โดยสารทั้ง 2 ชนิดนี้จัดเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ [8] ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดที่แก่นตะวันระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ ซึ่งสัมพันธ์กับงานวิจัยของ Rumbaoa และคณะ [24] ที่ศึกษากิจกรรม

การต้านอนุมูลอิสระในมันเทศและพบว่าสารกลุ่มนี้เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่า แก่นตะวันที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ตามมาด้วย เอทานอล และอะซิโตน และพบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lutz และคณะ [21] ที่พบว่าในแก่นตะวันแก่มีปริมาณฟีนอลิกสูงและมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแก่นตะวันอ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 18 และ 20 สัปดาห์ที่สกัดด้วยเอทานอล ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่สกัดด้วยน้ำและอะซิโตนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนั้นยังสัมพันธ์กับงานวิจัยของ สมพิศ และคณะ [25] ที่ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ในแก่นตะวันพันธุ์ HEL65 ที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ พบว่ามีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูง

ตารางที่ 5 ABTS radical scavenging activity (%) ของแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

แก่นตะวัน	ABTS radical scavenging activity (%)		
	น้ำ	95% ethanol	Acetone
14 สัปดาห์	52.00±0.02 ^{aA}	46.02±0.01 ^{bB}	33.18±0.06 ^{cC}
16 สัปดาห์	58.30±0.01 ^{bA}	47.33±0.11 ^{bB}	35.23±0.04 ^{cC}
18 สัปดาห์	59.59±0.28 ^{bA}	50.48±0.02 ^{aB}	46.83±0.11 ^{bC}
20 สัปดาห์	65.13±0.06 ^{aA}	53.88±0.03 ^{aB}	51.68±0.10 ^{aBC}

^{a-c} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

^{A-C} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในแถวเดียวกัน

N=3

3.3 Reducing power

Reducing power เป็นวิธีที่ใช้วัดความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารอนุมูลอิสระ โดย Potassium ferricyanide reduction สารต้านอนุมูลอิสระจะทำลดไอออนของ ferric (Fe^{3+}) แล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ ferrous (Fe^{2+}) การวัดค่ากิจกรรมของ Reducing power จะวัดจากการเพิ่มขึ้นของการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร เทียบกับ Blank จากการศึกษาวัดค่ากิจกรรม Reducing power เป็นหน่วย mg Gallic acid equivalent/g ตัวอย่างสด แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing power ของแก่นตะวัน 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน พบว่าแก่นตะวันที่ใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกันส่งผลให้ Reducing power ของแก่นตะวันทั้ง 4 ระยะการเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นแก่นตะวันระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 14 สัปดาห์ที่ไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำพบว่าแก่นตะวัน 16, 18 และ 20 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกันกับแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 14 สัปดาห์ ในขณะที่แก่นต้นที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 14 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันกับ 16 สัปดาห์ ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับแก่นตะวันที่สกัดด้วยเอทานอล แต่แก่นตะวันที่สกัดด้วยอะซิโตน พบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 18 และ 20 สัปดาห์ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกันกับแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 14 และ 16 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าแก่นตะวัน 20 สัปดาห์ มีค่า Reducing power สูงที่สุด

ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดใ้แก่นตะวัน 20 สัปดาห์ ซึ่งสัมพันธ์กับงานวิจัยของ Rumbaoa และคณะ [24] ที่ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในมันเทศและพบว่าสารกลุ่มนี้เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปริญญ์ [26] ซึ่งศึกษาปริมาณฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในต้นเร่วหอม (*Amomum xanthioides*) และว่านสาวหลง (*Amomum cf. biflorum* Jack) พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดทำให้มีปริมาณฟีนอลิกสูง ซึ่งส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี Reducing power ทำให้มีค่าสูงไปด้วยซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารฟีนอลิกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้

3.4 Ion-Chelating capacity

Ion-Chelating capacity เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ ในการจับกับไอออนของ Ferrous (Fe^{2+}) โดยวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเป็นค่าการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงสีแดงของ Ferric (Fe^{3+}) / Ferrozine complex วัดเป็นหน่วยร้อยละ (%) ของการจับกับไอออนของโลหะ จากการศึกษาในแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน ผลแสดงดังตารางที่ 7 พบว่าแก่นตะวันที่ใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกันส่งผลให้มีค่า Ion-Chelating capacity แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบแก่นตะวันที่สกัดด้วยน้ำพบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 16, 18 และ 20 สัปดาห์

ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกันกับ 14 สัปดาห์ ในขณะที่ 14 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันกับ 16 สัปดาห์ ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับแก่นตะวันที่สกัดด้วยเอทานอล แต่แก่นตะวันที่สกัดด้วยอะซิโตน พบว่า 18 และ 20 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกันกับ 14 และ 16 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ Ion-Chelating capacity สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุด ในแก่นตะวัน 20 สัปดาห์ที่สกัดด้วยน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้ทำให้มีความสามารถในการสกัดสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์

ซึ่งเป็นสารที่ขั้ว [23] โดยสารทั้ง 2 ชนิดนี้จัดเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ [8] และสัมพันธ์กับงานวิจัยของ Rumbaoa และคณะ [24] ที่ศึกษา กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในมันเทศและพบว่าสารกลุ่มนี้เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปริญญา [26] ซึ่งศึกษาปริมาณฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในต้นเร่วหอม (*Amomum xanthioides*) และว่านสาวหลง (*Amomum cf. biflorum* Jack) พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดทำให้มีปริมาณฟีนอลิกสูงซึ่งส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี Ion-chelating ability ทำให้มีค่าสูงไปด้วย

ตารางที่ 6 Reducing power ของแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

แก่นตะวัน	Reducing power (mg Gallic acid equivalent/g ตัวอย่างสด)		
	น้ำ	95% ethanol	Acetone
14 สัปดาห์	4.98±0.04 ^{bA}	4.09±0.05 ^{bA}	2.35±0.21 ^{bB}
16 สัปดาห์	5.27±0.23 ^{abA}	4.17±0.03 ^{abB}	2.72±0.12 ^{bC}
18 สัปดาห์	5.36±0.11 ^{aA}	4.20±0.01 ^{abB}	3.45±0.03 ^{aC}
20 สัปดาห์	5.58±0.04 ^{aA}	4.55±0.12 ^{aB}	3.65±0.02 ^{aC}

^{a-c} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

^{A-C} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในแถวเดียวกัน

N=3

ตารางที่ 7 Ion-Chelating capacity ของแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน

แก่นตะวัน	% Ion-Chelating capacity (mg EDTA equivalent/g ตัวอย่างสด)		
	น้ำ	95% ethanol	Acetone
14 สัปดาห์	44.92±1.10 ^{bA}	38.77±0.66 ^{bB}	35.84±0.94 ^{bC}
16 สัปดาห์	46.92±1.10 ^{abA}	41.92±0.54 ^{abB}	36.48±1.14 ^{bC}
18 สัปดาห์	48.93±0.43 ^{aA}	44.42±0.57 ^{aB}	38.56±0.33 ^{aC}
20 สัปดาห์	50.07±0.33 ^{aA}	46.14±0.22 ^{aB}	40.56±0.77 ^{aC}

^{a-c} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

^{A-C} หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ในแถวเดียวกัน

N=3

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันคือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ ซึ่งใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิดคือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน จากการศึกษพบว่าแก่นตะวัน

ทั้ง 4 ระยะการเก็บเกี่ยว มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ โดยแก่นตะวันที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 20 สัปดาห์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH, ABTS, Reducing power และ Ion-Chelating

capacity ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ 18, 16 และ 14 สัปดาห์ตามลำดับ ส่วนตัวทำละลายที่สกัดพบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ส่งผลให้มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด รองลงมาคือ เอทานอล และอะซิโตน ตามลำดับ ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของLutz และคณะ [21] ที่พบว่าแก่นตะวันแก่ (มีความยาวของหัวแก่นตะวัน 11 เซนติเมตร) มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด และงานวิจัยของ ดลรวี และคณะ [27] ที่พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์ในหญ้าดอกขาว (*Vernonia cinerea*) มีปริมาณสูง ส่งผลให้มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูง รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปริญญา [26] ซึ่งศึกษาปริมาณฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในต้นเร่วหอม (*Amomum xanthioides*) และว่านสาวหลง (*Amomum cf. biflorum Jack*) พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดทำให้มีปริมาณฟีนอลิกสูงซึ่งส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี Reducing power และ Ion-chelating ability ทำให้มีค่าสูงไปด้วย รวมทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยมันเทศที่พบว่า สารสกัดมันเทศที่มีปริมาณฟีนอลิกสูงส่งผลให้มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย [24]

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวันพันธุ์เบอร์ 2 ที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันคือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ โดยมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณพบว่าเมื่อแก่นตะวันมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมากขึ้นส่งผลให้มีปริมาณความชื้น โปรตีนและไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่เยื่อและคาร์โบไฮเดรต เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ถ้าวินิจฉัยการเปลี่ยนแปลงเมื่อแก่นตะวันมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมากขึ้น สำหรับปริมาณสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน คือ 14, 16, 18 และ 20 สัปดาห์ พบว่าแก่นตะวัน 20 สัปดาห์ที่สกัดด้วยน้ำ มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดเนื่องจากสารทั้งสองเป็นสารที่มีขั้วจึงสามารถละลายใน

น้ำได้ดี และน้ำเป็นตัวทำละลายมีขั้วสูงทำให้เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจึงสามารถสกัดสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดได้ปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเอทานอลและอะซิโตน รวมทั้งปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดส่งผลโดยตรงกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซึ่งวิเคราะห์ทั้งหมด 4 วิธี คือ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH, ABTS, Reducing power และ Ion-Chelating capacity พบว่าแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 20 สัปดาห์ มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าแก่นตะวันมีองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ ดังนั้นถ้าผู้บริโภคต้องการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากการรับประทานแก่นตะวันควรรับประทานแก่นตะวันที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 20 สัปดาห์ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สนั่น จอกลอย, วีรยา ลาตบัวขาว และ รัชนก มีแก้ว. 2549. "แก่นตะวัน (*Helianthus tuberosus* L.) พืชชนิดใหม่ใช้เป็นพลังงานทดแทน". *แก่นเกษตร*. 34(2): 104-111.
- [2] พัชรพจน์ อนันต์วิชรมงคล. 2553. *การหาปริมาณสารสำคัญในแก่นตะวันสายพันธุ์เบอร์ 2*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [3] Fratianni, F. et al. 2007. "Polyphenolic composition in different parts of some cultivars of globe artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. scolymus (L.) Fiori)". *Food Chemistry*. 104: 1282–1286.
- [4] ปัทมา พิทยจรรุฑิ. 2008. *สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณค่าจากทรัพยากรชีวภาพของไทย*. <http://www.vcharkarn.com/varicle/37351>. 10 กรกฎาคม.
- [5] รัชณี คงกาญจนาย และอภิชาติ วรณวิจิตร. 2553. *สารต้านอนุมูลอิสระ*. <http://dna.kds.ku.ac.th>. 13 กรกฎาคม.

- [6] Kris-Etherton, P. M. et al. 2002. "Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer". **Am J Med.** 113: 71S-88S.
- [7] Burn, J. et al. 2000. "Relationship among Antioxidant Activity, Vasodilatation Capacity, and Phenolic Contents of Red Wine". **Agric Food Chem.** 48(2): 220-230.
- [8] นันทวัน บุญยะประภัตร และคณะ. 2545. "ผักพื้นบ้านในป่าชายเลน.. สมุนไพร. 9(1): 15-19.
- [9] Saengthongpinit, W. and Sajjaanantakul, T. 2005. "Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers". **Postharvest Biology and Technology.** 37: 93–100.
- [10] Ireneusz, K. et al. 2013. "Identification and quantification of phenolic compounds from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers". **Food Agriculture and Environment.** 11: 601-606
- [11] Gil-Izquierdo, A.M.I., Conesa, M.A. and Ferreres, F. 2001. "The effect of storage temperatures on vitamin C and phenolics content of artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads". **Innovative Food Science & Emerging Technologies.** 2. 35(2): 199-202.
- [12] มยุรฉัตร เพือกไไร่ และคณะ. 2556. "ผลของอุณหภูมิและการระบายอากาศในบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อคุณภาพของหัวแค้นตะวัน". **Khon Kaen AGR. J.** 41: 67-71.
- [13] AOAC. 2000. **Official of Association of Analytical Chemistry 17th ed.** Association of Analytical Chemistry, Washington D.C.
- [14] Jung, K.J. et al. 2011. "Distribution of phenolic compounds and antioxidative activities in parts of sweet potato (*Ipomoea batata* L.) plants and in home processed roots". **Food Composition and Analysis.** 24: 29–37.
- [15] Miliauskas G., Venskutonis, P.R. and Van Beek, T. A. 2004. "Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts". **Food Chemistry.** 85: 231-237.
- [16] Pourmorad, F., Hosseinimehr, S.J. and Shahabimajd, N. 2006. "Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants". **African Journal of Biotechnology.** 5(11): 1142-1145.
- [17] Yamaski, K. et al. 1994. "Electrochemical method for estimating the antioxidative effect of methanol extracts of crude drugs". **Food Chemistry.** 42: 1663-1665.
- [18] Rahman, M.M., Fazlic, V. and Sadd, N.W. 2012. "Anti-oxidant properties of raw garlic (*Allium sativum*) extract". **Int Food Res J.** 19: 89-91.
- [19] Singh, N., and Rajini, P.S. 2004. Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato peel. **Food Chemistry.** 85: 611–616.
- [20] Kosem, N., Han, Y.H. and Moongkarndi, P. 2007. "Antioxidant and cytoprotective activities of methanolic extract from *Garcinia mangostana* hulls". **ScienceAsia** 33: 283–292.

- [21] Lutz, M., Henriquez, C. and Escobar, M. 2011. "Chemical composition and antioxidant properties of mature and baby artichokes (*Cynara scolymus* L.) raw and cook". **Food composition and analysis**. 24: 49-54
- [22] Domingo, R. et al. 2014. "Chemical and functional properties of the different by-products of artichoke (*Cynara scolymus* L.) from industrial canning processing". **Food Chemistry** 160: 134–140
- [23] Loudon, G. Mark. 2002. **Organic Chemistry** 4th. Oxford University Press.
- [24] Rumbaoa, R.O., Cornago, D.F. and Geronimo, I. M. 2009. "Phenolic content and antioxidant capacity of Philippines sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties". **Food chemistry**. 133: 1133-1138.
- [25] สมพิศ สายแก้ว, รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และ อัมพร แซ่เอียว. 2553. "ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ ของหัวแก่ต้นตะวันสดภายหลังการเก็บเกี่ยว". **วิทยาศาสตร์เกษตร**. 41(3/1)(พิเศษ): 249-252.
- [26] ปริญนุช อินทร์รอด. 2551. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนสกัดจากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง. โครงการงานวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [27] ดลรวี ลีลารุ่งระยับ, สายนที ปรรณนาผล และ อุดมศักดิ์ เหว่ซึ่งเจริญ. 2552. โครงการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสมุนไพรหญ้าดอกขาว. รายงานวิจัย: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.