ผลของการปอกเปลือกร่วมกับการใช้กรดซิตริกต่อคุณภาพของแก่นตะวัน พันธุ์แก่นตะวัน #2 ระหว่างการเก็บรักษา

Effect of peeling and citric acid on quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Kaentawan #2 during storage

เมวิกา ไชยฤทธิ์[1], สังคม เตชะวงค์เสถียร[1, 2*] และ รำไพ นามพิลา[1,2]

Mewika Chaiyarit[1], Sungcom Techawongstien[1, 2*], and Rumpai Nampila[1,2]

บทคัดย่อ: แก่นตะวัน #2 เป็นแก่นตะวันสายพันธุ์หนึ่งจากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มีลักษณะเด่น คือ ขนาดหัวใหญ่ รสชาติดี แขนงน้อย เหมาะใช้รับประทานสด ซึ่งปัญหาหลักของแก่นตะวันคือเมื่อนำมาตัดแต่งหรือเก็บรักษาเป็นเวลานานผิวของแก่นตะวันจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการปอกเปลือกร่วมกับการใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0 (Control), 0.5, 1 และ 2% เก็บรักษาภายใต้ถุงซิป LDPE (Low density polyethylene) ที่อุณหภูมิ 8±2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5% เป็นระยะเวลา 50 วัน ผลการศึกษาพบว่าการปอกเปลือกมีผลต่อค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ปริมาณอินนูลิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ส่วนการใช้กรดซิตริกทุกความเข้มข้นมีผลเล็กน้อยต่อค่าคุณภาพของแก่นตะวัน โดยการใช้กรดซิตริกที่ 0.5% ร่วมกับการปอกเปลือกทำให้แก่นตะวันมีคุณภาพดีที่สุดที่อายุการเก็บรักษา 30 วัน เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำหนัก และดัชนีการเกิดสีน้ำตาลอยู่ในช่วงที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างการปอกเปลือกและการใช้กรดซิตริกต่อคุณภาพของแก่นตะวัน

คำสำคัญ : LDPE, อินนูลิน, ฟีนอลลิก, ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล

A**BSTRACT**: Kaentawan #2 is a species from the Faculty of Agriculture. Khonkaen University. There are characterized by large tuber size, good taste, and little rhizome. Suitable for eating fresh. The main problem of Kaentawan #2. When storage for a long time, the skin will turn brown. There is not acceptable for consumers. So that, Study focuses on education peeling and treated with 0, 0.5, 1 and 2% citric acid on Kaentawan #2, storage in LDPE at temperature 8±2 °C, relative humidity 80±5%, was studied on its quality for 50 days. The results showed that peeling affected on browning index, weight loss percentage, total soluble solid contents, inulin content and total phenolic compounds. Citric acid at every concentration showed slightly affected on quality. Peeled and treated with 0.5% citric acid was found the best quality on 30 days of storage. However, interaction between peeling and citric acid did not found on the quality of Kaentawan #2.
Keyword: LDPE**,** Inulin, Phenolic, Browning Index

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์ และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khonkaen University, Khonkaen, 40002

[2] กลุ่มวิจัยไม้ผลสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Research Group for Fruit Crops in the Northeast, Khonkaen University, Khonkaen 40002, Thailand

* Corresponding author: suntec@kku.ac.th

แก่นเกษตร 46 (6) : 1115-1122 (2561).

บทนำ

แก่นตะวัน (*Helianthus tuberosus* L.) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่ชาวยุโรปและอเมริกาเหนือบริโภคมาแต่อดีต เนื่องจากเป็นอาหารราคาถูก และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Hartmann et al., 1995) ซึ่งในหัวแก่นตะวันเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยอินนูลิน (Inulin) ไฟเบอร์ วิตามิน และแร่ธาตุ (ศิริพร และคณะ, 2555) เป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมีบทบาทต่อร่างกาย (functional food) มีสรรพคุณเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ลดระดับน้ำตาลในเลือดและช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลได้ (Towviriyakul et al., 2012) ในประเทศไทยแก่นตะวันมีการนำเข้ามาปลูกและคัดเลือกสายพันธุ์ให้บริสุทธิ์ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ แก่นตะวัน #1, แก่นตะวัน #2, แก่นตะวัน #3 และสายพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกลูกผสมอีก 1 สายพันธุ์ คือ แก่นตะวัน #50-4 โดยแต่ละสายพันธุ์จะมีลักษณะเด่นแตกต่างกันไป เช่น แก่นตะวัน 2 มีลักษณะเด่น คือ ขนาดหัวใหญ่ รสชาติดี แขนงน้อย เหมาะใช้รับประทานสด (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, มปป) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวนี้แก่นตะวัน #2 จึงเหมาะกับการนำมาแปรรูปเป็นแก่นตะวันตัดแต่ง (fresh-cut) เพื่อความสะดวกในการบริโภค แต่ปัญหาหลักของแก่นตะวันตัดแต่งคือ เมื่อเก็บรักษาผิวจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง (Wang and Cangwell, 2014) การใช้กรดซิตริกเพื่อยับยั้งการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและรักษาคุณค่าทางโภชนาการนั้น เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากกรดซิตริกมีคุณสมบัติสามารถช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของผิวผลไม้ตัดแต่งได้ดี (Vamos and Vigvazo, 1995) จากรายงานของ Tsouvaltzis and Brecht (2015) การใช้กรดซิตริกความเข้มข้นน้อยกว่า 0.5% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของมันฝรั่งตัดแต่งโดยไม่ส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรม PPO ส่วนการใช้กรดซิตริกความเข้มข้น 1 และ 2% จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ นอกจากนี้กรดซิตริกยังมีราคาถูก หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคและสามารถเติมลงไปในอาหารโดยไม่เกิดอันตราย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการปอกเปลือกร่วมกับการใช้กรดซิตริกในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการรักษาคุณภาพแก่นตะวันพร้อมบริโภค เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลและยืดอายุการเก็บรักษา

วิธีการศึกษา

นำพันธุ์แก่นตะวัน #2 อายุการเก็บเกี่ยว 110 วัน จำนวน 196 หัว จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มาล้างด้วยน้ำสะอาด คัดขนาดและตัดแต่งหัว (น้ำหนักเฉลี่ย 50 กรัมต่อหัว) โดยการปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก จากนั้นนำไปแช่ด้วยกรดซิตริกความเข้มข้น 0 (Control), 0.5, 1 และ 2% นาน 3 นาที ผึ่งให้แห้ง บรรจุในถุงซิป LDPE (Low density polyethylene) ขนาด 4×6 นิ้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5% เป็นเวลา 50 วัน โดยทุกๆ 10 วัน ทำการบันทึกข้อมูลคุณภาพได้แก่

- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก โดยทำการชั่งน้ำหนักแก่นตะวันเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา(0 วัน) หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 10 วัน และนำค่ามาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักดังสมการต่อไปนี้

$$\%\text{การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา}}$$

- ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index, BI) โดยนำค่า L*, a* และb* ที่วัดโดยเครื่อง Hunter lab Mini Scan EZ มาคำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$BI = [100 * (X - 0.31)] / 0.172$$
$$\text{เมื่อ } X = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.012b^*)$$

ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลจะบ่งบอกถึงกระบวนการใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างการเก็บรักษา โดยจะแปรผลจากระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการเกิดสีน้ำตาล (BI >0) ถ้าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์เกิดขึ้น (Palou et al., 1999)

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%Brix) โดยนำหัวแก่นตะวันมาหั่นเป็นชิ้นละเอียด จากนั้นห่อด้วยผ้าขาวบาง ใช้เครื่องคั้นน้ำบีบเอาน้ำคั้น แล้ววัดด้วยเครื่อง Digital Hand-held Pocket refractometer PAL-1
- วิเคราะห์หาปริมาณอินนูลิน ด้วยวิธีสเปกโตร-โฟโทเมทรี โดยนำแก่นตะวันที่ผ่านการ Freeze dry มาบดให้ละเอียด จากนั้นนำมาสกัดด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 20 นาที

แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ได้สารสกัด free fructose; F_f จากนั้นดูดสารสกัดข้างต้นมา 0.1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไฮโดรคลอริก 3% v/v จนครบ 5 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 45 นาที ได้สารสกัด total fructose; F_{tot} นำสารสกัดที่ได้มาหาค่าอินนูลินด้วยวิธีของ Seangkanuk et al. (2011) โดยนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร

- วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลลิกทั้งหมด โดยนำแก่นตะวันที่ผ่านการ Freeze dry มาบดให้ละเอียด จากนั้นนำมาสกัดด้วยเอทานอล 70% แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 (ดัดแปลงวิธีจาก สุวรรณี และคณะ (2555)), นำสารสกัดที่ได้มาหาค่าฟีนอลลิกทั้งหมดด้วยวิธีของ Singeton et al. (1999)) โดยนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร
- วิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยทั้งหมด นำแก่นตะวันที่ผ่านการ Freeze dry มาบดให้ละเอียด ทำการต้มด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองผ่านชุดกรองบุชเนอร์ ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง จากนั้นนำกากที่ได้มาต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านชุดกรองบุชเนอร์อีกครั้ง ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง และล้างด้วยเอทานอล 95% 2 ครั้ง นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักกาก แล้วนำกากที่ได้ใส่ใน porcelain dish แล้วนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500-550 °C นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักเถ้า (ดัดแปลงวิธีจาก ลักขณา และนิธิยา (2544) และ ราณี (2547)) จากนั้นนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์เยื่อใยดิบ

$$\text{Crude fiber (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักแห้งของกาก-น้ำหนักเถ้า}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2×4 factorial in RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิต Statistix 8

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index, BI)

แก่นตะวันที่ผ่านการจัดการทั้ง 2 วิธี คือ ปอกเปลือกและไม่ปอกมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลค่อนข้างคงที่ โดยแก่นตะวันไม่ปอกเปลือกจะมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากแก่นตะวันไม่ปอกเปลือกมีส่วนของเปลือกห่อหุ้มอยู่ จึงทำให้ไม่เกิดการออกซิเดชันหรือเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่วนแก่นตะวันปอกเปลือกค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากในช่วงแรกนั้นแก่นตะวันตัดแต่งมีความเครียด ซึ่งเป็นผลมาจากการตัดแต่งแล้วเกิดบาดแผล การขาดน้ำ-อาหาร และอยู่ในสภาพที่แตกต่างจากเดิม ปัจจัยเหล่านี้จะไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างเอทิลีน การหายใจ และทำให้เกิดการออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น (จริงแท้, 2549) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารสีน้ำตาล (Duan et al., 2007) จึงทำให้ช่วงแรกของการเก็บรักษามีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Figure 1A) แต่เมื่อเก็บรักษาไประยะหนึ่ง ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในแก่นตะวันจะคงที่เนื่องจากการเก็บรักษาภายใต้ถุงซิป LDPE ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยควบคุมการซึมผ่านของความชื้น ออกซิเจน และอากาศ จึงทำให้พืชไม่เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2549) ส่วนการใช้กรดซิตริกทุกความเข้มข้นค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 10 วันแรก จากนั้นจะคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา โดยการใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% จะมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลมากกว่า 0% (Control) (Figure 1B) เนื่องจากการใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงนั้น จะส่งผลให้พืชเกิดอาการเครียดและเกิดการออกซิเดชันจึงทำให้เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Oszmianski et al., 1985) ซึ่งการใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.5% ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลจะใกล้เคียงกับ 0% (Control) เมื่อเก็บรักษาครบ 20 วัน

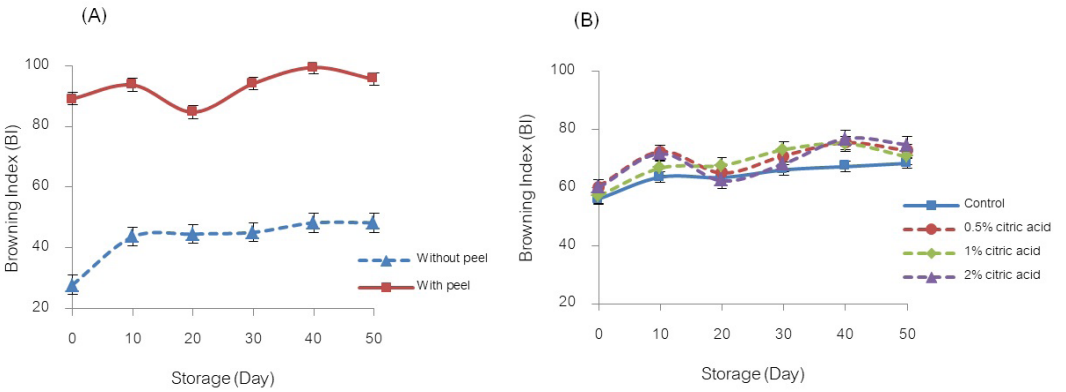

Figure 1 Browning Index of fresh-cut Jerusalem artichoke (A) treated with different concentration of citric acid (B) stored at 8±2 °C 80±5% R.H. for 50 days

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

ช่วง 20 วันแรกของการเก็บรักษาแก่นตะวันปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บรักษาที่ 30 วัน เนื่องจากภายในหัวของแก่นตะวันประกอบด้วยน้ำ 75-80% (Chekroun et al., 1996) ดังนั้นการปอกเปลือกและตัดแต่งจึงมีผลทำให้สูญเสียน้ำไปสู่อากาศได้ง่าย (จริงแท้, 2549) ส่วนเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของแก่นตะวันที่ผ่านการจัดการทั้ง 2 วิธี แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 80±5 % และบรรจุภายใต้ถุงซิป LDPE จะช่วยลดการหายใจของพืชได้ (ภาณุมาศ และการิตา, 2558) จึงทำให้การสูญเสียน้ำหนักของแก่นตะวันเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (0-1.90%) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 2A) ส่วนการใช้กรดซิตริกทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (Figure 2B) โดยการเก็บรักษาในช่วง 30 วัน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

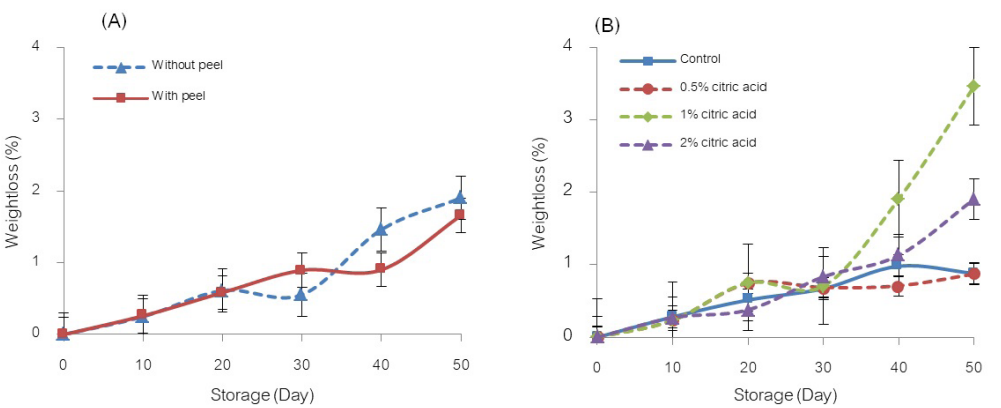

Figure 2 Percentage of weight loss of fresh-cut Jerusalem artichoke (A) treated with different concentration of citric acid (B) stored at 8±2°C 80±5% R.H. for 50 days

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ

แก่นตะวันปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากระหว่างการสุกหรือการเข้าสู่ความบริบูรณ์ของพืชปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่ผลผลิตและสภาพแวดล้อม โดยปกติผลผลิตซึ่งมีการหายใจอยู่ตลอดเวลาจะมีการใช้ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของน้ำตาลเป็นอาหารและพลังงาน ทำให้ปริมาณที่สะสมอยู่ลดน้อยลง (จริงแท้, 2546) โดยแก่นตะวันปอกเปลือกมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าแก่นตะวันที่ไม่ปอกเปลือก เนื่องจากการปอกเปลือกและการตัดแต่งทำให้เนื้อเยื่อภายในของพืชมีอัตราการหายใจและการคายน้ำเพิ่มมากขึ้น (Chandra et al., 2015) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะไปกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำซึ่งอาจเป็น กรดอนินทรีย์ น้ำตาล หรือสารแขวนลอยต่างๆภายในพืช ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำในแก่นตะวันปอกเปลือกมากกว่าไม่ปอกเปลือกเล็กน้อย ส่วนการใช้กรดซิตริกทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ โดยการใช้กรดซิตริกที่ 2% ทำให้ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมีปริมาณมากสุด รองลงมาคือ 1, 0.5 และ 0% (Control) **(Table1)** ซึ่งการเก็บรักษาที่ 30 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมีความเหมาะสมต่อการบริโภค เนื่องจากลักษณะต่างๆภายในของหัวแก่นตะวันเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น รสชาติหวาน เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม และไม่ปรากฏลักษณะของเส้นใยไฟเบอร์

ปริมาณอินนูลิน

แก่นตะวันปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกมีปริมาณอินนูลินที่ไม่แตกต่างกัน โดยแก่นตะวันปอกเปลือกจะมีปริมาณอินนูลินอยู่ในช่วง 27.48-69.66 g/100 g DM และแก่นตะวันไม่ปอกเปลือกอยู่ในช่วง 28.56-66.50 g/100 g DM ใกล้เคียงกับรายงานของศิริพร และคณะ (2555) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่วิเคราะห์ได้ต่อน้ำหนักสด 100 กรัมของแก่นตะวันทั้ง 16 สายพันธุ์ พบว่าทุกสายพันธุ์มีปริมาณอินนูลินอยู่ในช่วง 14.1 - 20.4 g/100g FW หรือคิดเป็น 60.9 - 79.2 g/100g DM และการศึกษาของ Van et al. ในปี 1995 พบว่าปริมาณอินนูลินใน Jerusalem Artichoke อยู่ในช่วง 16- 20 g/ 100g FW โดยแก่นตะวันที่ผ่านการจัดการทั้ง 2 วิธี จะมีปริมาณอินนูลินสูงสุดเมื่อเก็บรักษา 30 วัน จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนครบอายุการเก็บรักษา สอดคล้องกับ Saengthongpinit and Sajjaanantakul (2005) ซึ่งได้รายงานว่าปริมาณอินนูลินระหว่างการเก็บรักษาจะลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นาน เนื่องจากการย่อยสลายอินนูลินไปเป็นโมเลกุลสายสั้นและเป็นฟรุคโตส ส่วนการใช้กรดซิตริกทุกความเข้มข้นทำให้มีปริมาณอินนูลินสูงที่สุด ที่ 30 วันหลังการเก็บรักษา จากนั้นจะลดลงเล็กน้อย **(Table1)**

ปริมาณฟีนอลลิกทั้งหมด

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในแก่นตะวันที่ผ่านการจัดการทั้ง 2 วิธี คือ ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก พบว่า แก่นตะวันไม่ปอกเปลือก (36.39-78.02 mg GAE/100^{-1} DW) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าแก่นตะวันปอกเปลือก (30.83-55.35 mg GAE/100^{-1}DW) เนื่องจากในพืชหัวส่วนมากสารประกอบฟีนอลลิกที่พบจะอยู่บริเวณเปลือกและเนื้อเยื่อที่ติดกับเปลือก โดยสารที่พบมากที่สุดคือ กรดฟีนอลลิกชนิดต่างๆ (Lisinska และ Leszczynski, 1989) สอดคล้องกับ Seljasen and Slimestad (2007) ซึ่งศึกษาปริมาณฟีนอลิกในแก่นตะวัน พบว่าในเปลือกของแก่นตะวันมีสารฟีนอลิกสูง (39-129 mg GAE/ $100g^{-1}$ FW) อย่างไรก็ตามปริมาณฟีนอลลิกในแก่นตะวันปอกเปลือกนั้น อาจเกิดจากการที่ผิวของแก่นตะวันซึ่งมีสารประกอบฟีนอลลิกอยู่แล้ว มีโอกาสได้สัมผัสกับอากาศและถูกออกซิไดส์ โดยการทำงานของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) ได้เป็นควิโนน จากนั้นจึงรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่กลายเป็นสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549) ในการเก็บรักษาแก่นตะวัน ปริมาณสารฟีนอลลิกที่เกิดขึ้นจะเพิ่มตามระยะเวลาในการเก็บรักษา จึงทำให้แก่นตะวันเกิดเป็นสีน้ำตาลซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับต่อการบริโภค ดังนั้นในการเก็บรักษาเพื่อคงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ควรเก็บรักษาที่ 30 วัน เนื่องจากเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล พบว่า การเก็บรักษาที่ 30 วัน ไม่ทำให้สีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้กรดซิตริกพบว่า ปริมาณฟีนอลลิกทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้กรดซิตริกทุกความเข้มข้นจะทำให้ปริมาณฟีนอลลิกลดลงเล็กน้อยที่ 10 วัน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนครบระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการใช้กรดซิตริกที่ 0.5 และ 1% มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด **(Table 1)**

ปริมาณเยื่อใยดิบ

แก่นตะวันปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกมีปริมาณเยื่อใยดิบไม่แตกต่างกัน โดยในแก่นตะวันไม่ปอกเปลือก (2.58-4.20%) มีค่าสูงกว่าแก่นตะวันปอกเปลือกเล็กน้อย (2.44-4.41%) เนื่องจากเปลือกของแก่นตะวันมีโครงสร้างและมีเส้นใยที่มากกว่า ส่งผลให้ปริมาณเยื่อใยดิบมีมากกว่า ซึ่งปริมาณเยื่อใยดิบที่ได้จะสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก คือ เมื่อมีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นลักษณะปรากฏของเยื่อใยดิบที่อยู่ในหัวแก่นตะวันจะมีมากขึ้นเช่นกัน โดยปริมาณเยื่อใยดิบที่เพิ่มมากขึ้นอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของชนิดและปริมาณคาร์โบไฮเดรต เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน ระหว่างการเจริญเติบโตและหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจจะไม่เกี่ยวข้องกับรสชาติของผักและผลไม้โดยตรง แต่มีผลต่อคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น เหนียว เป็นเสี้ยนเส้นใย เป็นต้น (จริงแท้, 2546) ส่วนการใช้กรดซิตริกพบว่า ปริมาณเยื่อใยดิบใน Control มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ 2, 0.5 และ 1% ตามลำดับ (2.15-4.48%) โดยปริมาณเยื่อใยดิบจะเพิ่มสูงขึ้นจนครบระยะเวลาในการเก็บรักษา (Table 1)

อิทธิพลร่วมของการปอกเปลือกและการใช้กรดซิตริกต่อคุณภาพของแก่นตะวันระหว่างการเก็บรักษา

การวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างการปอกเปลือกและการใช้กรดซิตริกของแก่นตะวัน โดยส่วนใหญ่การนำเสนอผลจึงเน้นอิทธิพลของปัจจัยหลัก

Table 1 Physical and chemical changes of Jerusalem artichoke during storage at8±2o C 80±5% R.H. For 50 days

Parameter	Factor	Treatment	Time in storage (days)					
			0	10	20	30	40	50
TSS (°Brix)	A	Without peel	25.03	22.26	23.48a	22.95a	22.73a	23.33a
		With peel	25.65	21.58	22.28b	19.31b	18.37b	18.85b
		LSD.05	0.77	1.22	0.52	1.98	1.80	0.97
		S.D.	0.26	0.41	0.17	0.67	0.59	0.33
		F-test	ns	ns	**	**	**	**
	B	Control	24.45b	21.23	22.88a	21.72	20.50	21.28ab
		0.5% Citric acid	24.55b	22.00	23.20a	21.96	22.01	20.82ab
		1% Citric acid	26.32a	21.72	23.46a	20.61	19.71	20.25b
		2% Citric acid	26.06a	22.75	21.98b	20.86	19.98	22.01a
		LSD.05	1.09	1.72	0.74	2.81	2.54	1.37
		S.D.	0.37	0.58	0.25	0.95	0.84	0.47
		F-test	**	ns	**	ns	ns	*
	A*B	S.D.	0.53	0.82	0.35	1.34	1.19	0.63
		F-test	**	ns	ns	ns	ns	*
		CV (%)	4.15	7.55	3.11	12.67	11.90	6.25
Inulin (g/100 g DM)	A	Without peel	22.48b	62.18a	54.84b	69.66	63.27	66.63a
		With peel	28.56a	56.91b	63.18a	66.50	65.33	63.87b
		LSD.05	2.56	5.16	8.98	8.46	5.74	3.70
		S.D.	0.86	1.75	3.05	2.87	1.95	1.19
		F-test	**	*	*	ns	ns	*
	B	Control	23.92	56.97	58.53	69.97ab	58.02b	65.35b
		0.5% Citric acid	23.38	61.32	61.02	72.42a	62.10b	61.28b
		1% Citric acid	25.83	60.47	57.17	72.12a	71.18a	63.59b
		2% Citric acid	28.95	59.43	59.32	58.10b	65.90ab	70.78a
		LSD.05	3.61	7.30	12.70	11.96	8.12	5.23
		S.D.	1.23	2.48	4.31	4.06	2.76	1.69
		F-test	ns	ns	ns	*	*	*
	A*B	S.D.	1.74	3.51	6.10	5.75	3.90	2.39
		F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*
		CV (%)	13.61	11.80	20.70	16.88	10.22	7.70

Table 1 Physical and chemical changes of Jerusalem artichoke during storage at8±2o C 80±5% R.H. For 50 days (continue)

Parameter	Factor	Treatment	Time in storage (days)					
			0	10	20	30	40	50
Total phenolic compound (mg GAE $100g^{-1}$ DW)	A	Without peel	43.84	30.83b	48.2b	34.60b	49.32b	55.35b
		With peel	36.49	38.64a	57.41a	56.91a	78.02a	77.74a
		LSD.05	9.00	3.07	6.05	7.80	5.30	6.19
		S.D.	3.06	1.04	2.05	2.65	1.80	2.01
		F-test	ns	**	*	**	**	**
	B	Control	48.02	34.54ab	54.04	38.83b	59.00b	63.39
		0.5% Citric acid	37.91	33.58b	56.18	44.95ab	68.93a	63.52
		1% Citric acid	37.83	38.00a	49.76	50.97a	66.15ab	70.93
		2% Citric acid	36.91	32.83b	51.26	48.27ab	60.61b	68.35
		LSD.05	12.73	6.15	8.56	11.04	7.50	8.75
		S.D.	4.32	1.47	2.91	3.75	2.55	2.83
		F-test	ns	*	ns	*	*	ns
	A*B	S.D.	6.12	2.08	4.11	5.31	3.61	4.01
		F-test	ns	**	ns	ns	ns	ns
		CV (%)	30.47	12.03	15.59	23.19	11.32	12.64
Fiber (%)	A	Without peel	2.44	2.79	3.10	3.26	3.81	4.06
		With peel	2.58	2.69	3.28	3.94	4.34	4.10
		LSD.05	0.78	0.78	0.82	1.09	0.60	0.48
		S.D.	0.26	0.26	0.27	0.37	0.20	0.16
		F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	B	Control	3.03	3.45	3.54	3.61	4.17	4.05
		0.5% Citric acid	2.21	2.41	2.96	3.28	4.17	4.31
		1% Citric acid	2.15	2.61	2.92	3.63	3.75	4.31
		2% Citric acid	2.65	2.49	3.35	3.85	4.21	3.60
		LSD.05	1.11	1.11	1.14	1.54	0.85	0.68
		S.D.	0.37	0.37	0.39	0.52	0.28	0.23
		F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	A*B	S.D.	0.53	0.53	0.56	0.74	0.40	0.33
		F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		CV (%)	42.33	38.77	34.73	41.21	20.13	15.99

* Significant at P<0.05. Means in the same column with different letters are significantly different at P<0.05

สรุป

การศึกษาไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างการปอกเปลือกและการใช้กรดซิตริกต่อคุณภาพของแก่นตะวัน แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยหลัก พบว่าการปอกเปลือกมีผลต่อค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ปริมาณอินนูลิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แต่ไม่มีผลต่อปริมาณเยื่อใยดิบ ส่วนการใช้กรดซิตริกมีผลเล็กน้อยต่อค่าคุณภาพของแก่นตะวัน ทั้งนี้การปอกเปลือกร่วมกับการใช้กรดซิตริกที่ 0.5% ทำให้แก่นตะวันปอกเปลือกมีคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาดีที่สุดที่ 30 วัน โดยมีการสูญเสียน้ำหนัก และดัชนีการเกิดสีน้ำตาลอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยไม้ผลสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

ภาณุมาศ โคตรพงศ์ และการิตา จงเจือกลาง. 2558. ผลของถุงบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพโหระพาในระหว่างการเก็บรักษา. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น. มปป. เอกสารแนะนำแก่นตะวันพันธุ์ใหม่“แก่นตะวัน 50-4”. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. หลักการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 20-38 หน้า.

ราณี สุรกาญจน์กุล. 2547. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์อาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพ.

สุวรรณี แสนทวีสุข, ดวงใจ จงตามกลาง, ทัศน์วรรณ สมจันทร์, และ ปิติพงษ์ โตบันลือภพ. 2555. ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูล อิสระ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสมุนไพรบางชนิด. แก่นเกษตร. 40(2): 480-483.

ศิริพร ตันจอ, ครรชิต จุดประสงค์, ชนัญฑิตา ไชยโต และสนั่น จอกลอย. 2555. อินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในแก่นตะวันสายพันธุ์ต่างๆ. วิจัย มข. 11: 25-34

Chekroun, MB., J. Amzile, A . Mokhtari, E. hne, J. Prevost, and R. Fontanillas.1996. Comparison of fructose production by 37 cultivars of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L). New Zeal. J. Crop Hort. 24(1): 115-120.

Chandara, D., A.J. Choi, Y.P. Kim, and G. Kim. 2015. Physicochemical, Microbial and sensory quality of fresh-cut red beetroots in relation to sanitization method and storage duration. J. Food Sci. 27 – 2015.

Duan, X., X. Su, Y. You, H. Qu, Y. Li and Y. Jiang. 2007. Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relationto phenolic metabolism. J. Food Chem 104: 571-576.

Hartmann, E., H. Schuldes, R. Kübler, and W. Konold. 1995. Neophyten. Biologie, Verbreitung und Kontrolle ausgewählter Arten. ecomed, Landsberg.

Lisinska, G. and W. Leszczynski. 1989. Potato Science and Technology. Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York. 349.

Palou,E., A. López-Malo, G. V. Barbosa-Cnovas, J. Welti-Chanes, and B. G. Swanson. 1999. Polyphenoloxidase Activity and Color of Blanched and High Hydrostatic Pressure Treated Banana Puree. J. Food Sci. 64: 42-45.

Saengthongpinit, W., and T. Sajjaanantakul. 2005. Influence of harvest time and storage temperature on Characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. J. Post Biol and Tech. 37: 93-100.

Seangkanuk, A., S. Nuchadomrong, S. Jogloy, A. Patanothai., and S. Srijarannai. 2011. A simplifild spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers. J.Food Res Technol. 233:609-616.

Siddiq, M., D.S. Sogi, and K.D. Dolan. 2013. Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut‘Tommy Atkins’ mangoes as affected by different pre-treatments. J. Food Sci and Technol. 53:156-162.

Singleton,V., L. Orthofer, R. Lamuela, and R.M. Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates andantioxidants by means of Folin Ciocalteu reagent. Method Enzymol.299:152-178.

Seljasen, R. and R. Slimestad. 2007. Fucto oligosaccharides and phenolics in flesh and peel of spring harvested Helianthus. J. Acta Hortic. 53:744.

Towviriyakul. A., S. Jitinandan , K. Judprasong and A. Nitithamyong. 2012. Formulation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Juice. Mae Fah Luang University International Conference.

Tsouvaltzis,P. and J.K.Brecht. 2015. Inihibition of enzymatic browning of fresh-cut potato by immersion in citric acid is not solely due to PH reduction of the solution. J. Food Process Preserv. 1745-4549.

Vamos, L. and L. Vigyazo. 1995. Prevention of browning in fruits and vegetables: a review of principles and practiceC.Y. Lee, J.R. Whitaker (Eds.), Enzymatic Browning and its Prevention, ACS Symposium Series 600, American Chemical Society. Washington. 49-62.

Van L.J., P. Coussement, L. DeLeenheer, H. Hoebregs, and G. Smits.1995. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet. Food Sci Nutr. 35: 525-552.

Wang, Q., and M. Cantwell. 2014. Quality changes and respiration rates of fresh-cut Sunchoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.). J. Food Process Preserv.1745-4549.

Oszmianski, J., J.C. Sapis and J.J. Macheix. 1985. Changes in grape seed phenols as affected by enzymic and chemical oxidation in vitro. J. Food Sci. 50: 1501.

Radhalyengar, A., and J. M.Evily.1992. Anti-browning agents: alternatives to the use of sulfites in foods. J. Food Sci Tech.3: 60-64.