

ผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสและการบรรจุแบบสุญญากาศ
ต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาแช่เยือกแข็ง

The Effects of Sucrose Solution and Vacuum Packaging on β -carotene Content in Frozen
Champedak (*Artocarpus integer* Merr.) Pulp

จตุพร คงทอง^{1*}, จันทิรา วงศ์วิเชียร¹, จุฑามรณ ลิ้มสุวรรณมณี¹, นฤมล มีบุญ¹
Jatuporn Khongtong^{1*}, Chantira Wongwichien¹, Jutaporn Limsuwanmanee¹ and
Naruemon Meeboon¹

Received: October 24, 2024

Revised: January 2, 2025

Accepted: January 6, 2025

Abstract: Champedak is a distinctive fruit of Nakhon Si Thammarat province and a significant source of β -carotene for local residents. This study aimed to investigate the effects of soaking chapedak pulp in sucrose solutions at concentrations of 20°Brix and 40°Brix, as well as vacuum packaging, on the β -carotene content and color quality of frozen champedak pulp to compare with fresh champedak. Experiment was conducted after defrost the frozen champedak. Quality assessments were conducted at 0 and 6 months. The results showed that cell damage by freezing process was significantly reduced the β -carotene content ($p \leq 0.05$). Soaking champedak pulp in 40°Brix sucrose solutions could preserve the β -carotene content. However, vacuum packaging did not significantly affect the β -carotene content or color quality ($p > 0.05$). This study suggests that using high concentrations of sucrose solution combined with techniques to reduce ice crystal size could be a promising approach to preserving β -carotene in frozen champedak pulp. Although the β -carotene content in champedak may be lower than that in other fruits, consuming locally produced food promotes the utilization of native plants, contributing to long-term food security.

Keywords: Beta-carotene, Champedak, Frozen, Sucrose, Vacuum

บทคัดย่อ: จำปาตะ เป็นผลไม้เอกลักษณ์ของจังหวัดนครศรีธรรมราชและเป็นพืชที่เป็นแหล่งของเบต้าแคโรทีนของประชาชนในพื้นที่ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมเนื้อจำปาตะในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ และ 40 องศาบริกซ์ และการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและคุณภาพทางด้านสีของเนื้อจำปาตะเมื่อผ่านการละลายหลังจากการแช่เยือกแข็ง เปรียบเทียบกับเนื้อจำปาตะสด วิเคราะห์ผลที่ระยะเวลา 0 และ 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การแช่เยือกแข็งทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การแช่เนื้อจำปาตะในสารละลายน้ำตาลซูโครสช่วยรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนได้ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ อย่างไรก็ตามการบรรจุแบบสุญญากาศไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและคุณภาพทางด้านสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การศึกษานี้จึงเสนอแนะว่าการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นสูงขึ้นร่วมกับการควบคุมเพื่อลดขนาดของผลึกน้ำแข็งอาจเป็น

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จ.นครศรีธรรมราช 80280

¹Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80280

*Corresponding author: Jatuporn_kho@nstru.ac.th

วิธีการที่ช่วยรักษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งให้คงอยู่ได้ ถึงแม้ว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะอาจน้อยกว่าพืชชนิดอื่น แต่การเลือกบริโภควัตถุดิบที่เป็นผลผลิตภายในท้องถิ่น ย่อมเป็นการช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพืชพื้นถิ่น ซึ่งส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหารต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เบต้าแคโรทีน, จำปาตะ, แช่เยือกแข็ง, ทุโครส, สุนัขจิ้งจอก

คำนำ

จำปาตะ (*Champedak*) ชื่อวิทยาศาสตร์ (*Artocarpus integer* Merr.) เป็นไม้ผลยืนต้นอยู่ในตระกูล Moraceae family มีความคล้ายคลึงกับขนุน (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) แต่จำปาตะผลจะเล็กและเนื้อนุ่มกว่า เมื่อสุกจะอมจะมีกลิ่นเฉพาะตัวคล้ายทุเรียนซึ่งเป็นพืชที่ขึ้นชอบสำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม สารระเหยเด่นที่พบในเนื้อจำปาตะแล้วทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะตัวได้แก่ กลุ่มของ 3-methylbutanoic acid 3-methylbutanol 2-acetyl-1-pyrroline และ tentatively identified 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone ซึ่งจะมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสายพันธุ์ (Mantana *et al.*, 2014)

จำปาตะพบมากในประเทศเขตร้อนชื้นได้แก่ มาเลเซีย สุมัตรา ชวา บอร์เนียว สุลาเวสี มลูลู นิวกินี และประเทศไทย โดยในประเทศไทยนิยมปลูกมากในภาคใต้สายพันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ ขวัญสตุล สายน้ำผึ้ง (สตุล) ทองตายงค์ แม่ยุพิน (พังงา) ยวงทองนาทวี หรือ ปลัดทอง ทองตาปาน (สงขลา) ทองเลี้ยว ทองยุพิน (พัทลุง) จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศและดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ โดยเกษตรกรมักปลูกจำปาตะร่วมกับพืชอื่นในระบบผสมผสาน ซึ่งช่วยเพิ่มความยั่งยืนและลดความเสี่ยงในการทำเกษตรแบบพืชเชิงเดี่ยว (ภาวสินี, 2558)

อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช มีการปลูกจำปาตะหลายสายพันธุ์ โดยส่วนใหญ่พันธุ์ที่ปลูกมีคุณลักษณะเน้นที่ความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและคุณภาพของผลผลิต จำปาตะในพื้นที่อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเป็นที่ต้องการในตลาดจีน ในฤดูกาลผลผลิตของจำปาตะจะมีพ่อค้าชาวจีนเข้ามารวบรวมผลจำปาตะถึงในพื้นที่ โดยกำหนดลักษณะความยาวไม่เกิน 1 ฟุตหนักไม่เกิน 3 กิโลกรัม ทรงพิกเขียว ซึ่งตรงกับพันธุ์

ทองเลี้ยวที่มีลักษณะพันธุ์ที่ปลูกในจังหวัดพัทลุง ส่วนลักษณะผลที่ไม่ตรงตามตลาดที่จีนต้องการจึงส่งออกยังประเทศมาเลเซีย และบริโภคภายในประเทศ (สถานีวิจัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2566) เกษตรกรผู้ปลูกจำปาตะในพื้นที่ลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราชมีรายได้จากการจำหน่ายจำปาตะผลสดเฉลี่ย 3,000 บาทต่อต้น รายได้จากการจำหน่ายจำปาตะเฉลี่ย 100,000 บาทต่อปี จำปาตะต้นหนึ่งมีผลเฉลี่ยราว 50 ลูก (บางต้นมี 100-300 ลูก) น้ำหนักเฉลี่ยลูกละ 4 กิโลกรัม (น้ำหนักที่ผู้บริโภคส่วนมากนิยม เพราะผลไม่โตมากจนเกินไป) ถ้าใน 1 ผล มีน้ำหนักในช่วง 6-10 กิโลกรัม มักจะขายออกนอกพื้นที่หรือกลุ่มแม่ค้าที่ต้องการนำไปทอด ราคาจำปาตะอยู่ที่กิโลกรัมละ 15-25 บาท (แต่ถ้าออกฤดูกาล ขายได้ในราคา กิโลกรัมละ 80-85 บาท) เนื้อจำปาตะนอกจากผู้บริโภคจะนิยมรับประทานแบบสดและชุบแป้งทอดแล้ว ยังนิยมรับประทานแบบกวนด้วย (สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, 2567)

ในฤดูกาลที่ผลผลิตจำปาตะมีจำนวนมาก จำปาตะจะมีราคาถูกและล้นตลาด เกษตรกรที่ปลูกจำปาตะจึงแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากจำปาตะ เช่น จำปาตะทอด จะนิยมเก็บผลผลิตเนื้อจำปาตะไว้ในรูปแช่เยือกแข็ง โดยตามหลักการแช่เยือกแข็งนั้น การแช่เยือกแข็งไม่ได้ทำให้ปริมาณสารอาหารลดลงหากผ่านวิธีการเก็บรักษาที่ถูกต้อง เพราะความเย็นจะเป็นตัวช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และช่วยคงคุณภาพและรสชาติของอาหารไว้ได้ (รัชชานนท์ และคณะ, 2563) อย่างไรก็ตามการแปรรูปเนื้อจำปาตะที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลานาน ทำให้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อจำปาตะลดลงด้วยเช่นกันงานวิจัยของ รัชชานนท์ และคณะ (2563) ที่แช่เยือกแข็งผักทองแล้วสารเบต้าแคโรทีนในผักทองลดลง

เบต้าแคโรทีนนี้จะมีมากในกลุ่มผัก ผลไม้ สีเหลือง ส้ม (Lim, 2011) สารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาจะมีปริมาณเท่ากับ 40 ไมโครกรัม มีค่าน้อยกว่าขนุนซึ่งมีค่าเท่ากับ 78 ไมโครกรัม ใกล้เคียงกับในทุเรียนหมอนทองซึ่งเท่ากับ 46 ไมโครกรัม และมากกว่าแตงโมเหลืองซึ่งมีค่าเท่ากับ 21 ไมโครกรัม (สำนักโภชนาการ, 2561) ซึ่งการลดลงของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์เกิดจากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเกิดจากทั้งเอนไซม์และกระบวนการที่ไม่ใช่เอนไซม์ ซึ่งปริมาณเบต้าแคโรทีนนั้นจะแปรผันโดยตรงกับค่าความเป็นสีเหลืองด้วย (รัชชานนท์ และคณะ, 2563) การเก็บรักษาที่สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสามารถลดการสูญเสียเบต้าแคโรทีนได้ (Kmieciak *et al.*, 2020) โดยปกติเบต้าแคโรทีนเป็นองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ซึ่งอยู่ในพลาสติดโครโมพลาสต์ของเซลล์พืช ประกอบไปด้วยพันธะคู่จำนวน 11 คู่ จึงทำให้ เบต้าแคโรทีนอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร เมื่อสัมผัสกับอากาศซึ่งมีออกซิเจนจะทำให้ ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยเฉพาะหากยังมีแสงและความร้อนด้วย ยังสามารถเร่งปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากรูปทรง-เบต้าแคโรทีน ไปเป็น ซีส-เบต้าแคโรทีน ซึ่งมีความไม่เสถียรมากกว่าและส่งผลให้ความเป็นสีเหลืองเข้มจางลง นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนรูปจาก ทรงานส์ ไปเป็น ซีส-เบต้าแคโรทีนนั้น สามารถทำให้ปริมาณ เบต้าแคโรทีนสลายตัวได้ (Dahlan, 2019; Netlak *et al.*, 2023)

สารละลายน้ำตาลเป็นสารปกป้องเซลล์ชนิดหนึ่งที่ใช้กันมากในการป้องกันความเสียหายจากความเย็นในระหว่างการแช่แข็งโดยเฉพาะในผลไม้ โดยสามารถรักษาคุณภาพสุดท้ายของวัตถุดิบได้อย่างมีนัยสำคัญ (James and James, 2010) ซึ่งจะใช้น้ำตาลเพื่อเตรียมวัตถุดิบให้พร้อมก่อนการแช่แข็งโดยใช้กระบวนการออสโมซิสเข้ามาช่วยเพื่อให้สารละลายน้ำตาลซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของวัตถุดิบได้ โดยการจุ่มวัตถุดิบลงในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นกว่าปริมาณน้ำตาลในผลไม้ ความแตกต่างของความดันออสโมติกระหว่างสองระบบ

ช่วยให้สารละลายแทรกซึมผ่านเนื้อผลไม้ได้ (Mujica-Paz *et al.*, 2003)

สารละลายน้ำตาลที่ใช้เป็นสารปกป้องเซลล์นี้จะช่วยลดความเสียหายของเนื้อเยื่อพืชโดยลดการเกิด Drip loss ภายหลังการละลาย ซึ่งส่งผลต่อการรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สี และ กลิ่นรสของผลไม้ไว้ได้ (Chaves and Zaritzky, 2018) ยิ่งไปกว่านั้นน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของผลไม้ยังช่วยขัดขวางออกซิเจนไม่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยาในผลไม้ จึงช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ (Bilge *et al.*, 2005)

งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลของการเตรียมเนื้อจำปาที่เก็บเกี่ยวได้จากพื้นที่ อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราชในสารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์และ 40 องศาบริกซ์ และการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและคุณภาพทางด้านสีของเนื้อจำปา การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และทำการละลายประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยเพิ่มเติม คือสามารถเก็บรักษาเนื้อจำปาได้ไว้ใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากจำปาได้เช่น จำปาดะทอด จำปาดะกวน เป็นต้น ในฤดูกาลที่ขาดแคลนจำปาดะหรือจำปาดะมีราคาแพง และผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากจำปาจะสามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้ตลอดทั้งปี

อุปกรณ์และวิธีการ

จำปาดะจาก “สวนพืชวิญญู” ตำบลเขาแก้ว อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช ระยะ 2 วัน หลังเก็บเกี่ยว ขนาดผล 3-4 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) อยู่ในช่วง 30 – 40 องศาบริกซ์ ล้างทำความสะอาดผิวเปลือกภายนอก แล้วแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาแช่เยือกแข็ง

ผู้ผ่าเปลือกจำปาตามแนวยาวของผล นำเนื้อออกจากผลโดยไม่ต้องนำเมล็ดออก เตรียมเนื้อจำปาตามชุดการทดลองทั้ง 6 ชุด

(Table 1) จากนั้นจึงนำเนื้อจำปาตะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือชุดการทดลองที่ไม่ต้องแช่เยือกแข็งร่วมกับ สารละลาย เนื้อจำปาตะออกจากผลโดยไม่ต้อง นำเมล็ดออกวางบนถาดแสดงตนเลขขนาด 50x30 เซนติเมตร ให้มีระยะห่าง วางถาดละ 30 ชิ้น (Figure 1) ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ นำไปแช่เยือกแข็งแบบ แช่ด้วยตู้ cabinet freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อจำปาตะแข็งตัวในเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงนำเนื้อจำปาตะที่ผ่านการ แช่เยือกแข็งด้วยตู้ cabinet freezer ซึ่งแข็งตัวดีแล้ว บรรจุในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอน ขนาด 50x30 เซนติเมตร ซิลปิดปากถุงให้สนิทโดยไม่ต้องดึงอากาศออก

ส่วนชุดการทดลองที่ต้องแช่เนื้อจำปาตะ พร้อมสารละลายน้ำตาลซูโครส (Table 1) ให้เนื้อ จำปาตะพร้อมสารละลายน้ำตาลซูโครสมาบรรจุ ในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอน ขนาด 50x30 เซนติเมตร แล้วจึงแช่เยือก แข็งแบบแช่ด้วยตู้ cabinet freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อจำปา ตะแข็งตัวในเบื้องต้น และเพื่อควบคุมให้สภาวะการ แช่เยือกแข็งเหมือนกับเนื้อจำปาตะที่แช่เยือกแข็ง เฉพาะเนื้อโดยปราศจากสารละลาย หลังจากนั้นจึง นำเนื้อจำปาตะทั้ง 6 ชุดการทดลองเก็บรักษาโดย วางถุงแนวนอนในตู้ chest freezer ที่อุณหภูมิ

$$\beta\text{-carotene (mg/100g)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453}$$

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็ง

เปิดเปลือกจำปาตะออกตามแนวยาวของผล นำเนื้อออกจากผลโดยไม่ต้องนำเมล็ดออก วางบน ถาดแสดงตนเลข ขนาด 50x30 cm ให้มีระยะห่าง วางถาดละ 30 ชิ้น (Figure 1) จำนวน 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ นำไปแช่เยือกแข็งแบบแช่ด้วยตู้ cabinet freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อจำปาตะ

-18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

การประเมินคุณภาพการบริโภค

นำตัวอย่างมาประเมินสารเบต้าแคโรทีน ควบคู่กับค่าสี ($L^* a^* b^*$) วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ในเดือนที่ 3 และ 6 เทียบกับเนื้อจำปาตะสดที่ไม่ได้ผ่านการแช่เยือกแข็ง

ละลายน้ำแข็งตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ค่า ทุกครั้งโดยการนำตัวอย่างออกจากตู้ freezer พร้อมบรรจุภัณฑ์วางพักไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกจากถุงวางพักไว้บนกระชอนให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซับน้ำส่วนเกินที่ติดบนชิ้นจำปาตะหลังการสะเด็ดน้ำด้วยกระดาษชอก แล้วจึงนำไปตรวจวัด

1) วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CR-400

2) วิเคราะห์หาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ตามวิธีของ รัชชานนท์ และคณะ (2563) ด้วยการนำ ตัวอย่างเนื้อจำปาตะมา 1 กรัม เติมน้ำ Acetone : Hexane อัตราส่วน 4:6 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง Hand Blender เป็นเวลา 1 นาที กรองแยกนำส่วนของสารละลายวัดค่าการ ดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Biochrom รุ่น Libra s70 ที่ค่าการดูดกลืนแสง (A) 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร (nm) ดังสมการ

แข็งตัวในเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงนำเนื้อจำปาตะทั้ง 2 ชุดการทดลองที่แข็งตัวดีแล้วบรรจุในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอน ขนาด 50x30 เซนติเมตร แล้วจึงแบ่ง 1 ชุดการทดลองสำหรับการ บรรจุแบบสุญญากาศ และอีกชุดการทดลองสำหรับการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติซิลปิดปากถุงให้สนิท (Figure 2) ทั้ง 2 ชุดการทดลองเก็บรักษาโดย วางถุงแนวนอนในตู้ chest freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน แล้วจึงประเมินคุณภาพการบริโภคเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

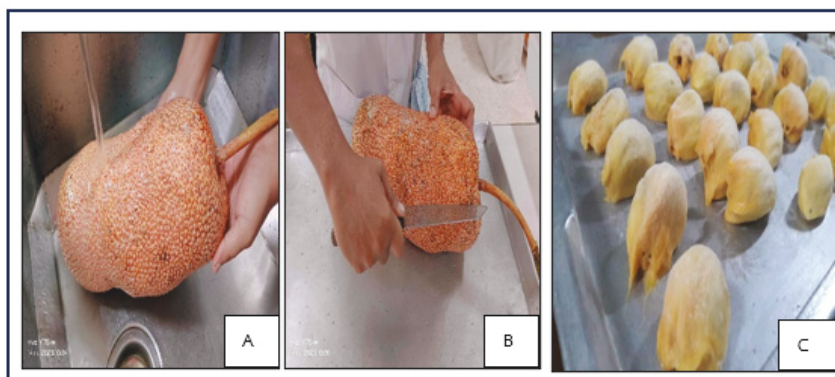


Figure 1 The preparation of champedak flesh pulp before freezing, A = washing outside the fruit, B = opening the fruit, C = removing the flesh from the fruit without removing the seeds and place it on a stainless steel tray

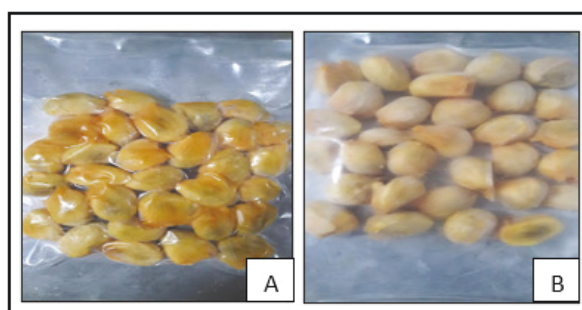


Figure 2 Champedak fresh pulp in vacuumed packaging (A) and unvacuumed packaging (B)

Table 1 The preparation of champedak pulp before freezing.

Treatments	Solution
Treatment 1	champedak 500 g without solution
Treatment 2	champedak 500 g was immersed in 500 mL of distilled water
Treatment 3	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 20°Brix sucrose solution for 60 minutes, then drained the extra solution.
Treatment 4	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 40°Brix sucrose solution for 60 minutes, then drained the extra solution.
Treatment 5	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 20°Brix sucrose solution for 60 minutes, then frozen with the solution.
Treatment 6	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 40°Brix sucrose solution for 60 minutes, then frozen with the solution.

Note: All 6 experimental sets in Table 1 were filled without vacuum.

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ

completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan new's multiple range test ที่ความเชื่อมั่น 95% ($p \leq .05$)

ผลการทดลอง

ผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็ง

ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็ง (Table 2) เมื่อผ่านการเตรียมวัตถุดิบตามชุดการทดลองทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ดังมีรายละเอียดใน (Table 1) เปรียบเทียบกับเนื้อจำปาตะสดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งผลพบว่า ปริมาณเบต้าแคโรทีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น จาก 0.47 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เหลือปริมาณอยู่ในช่วง 0.22 – 0.44 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งโดยเฉลี่ยลดลงประมาณ เกือบ 50 เปอร์เซ็นต์จากผลสด โดยที่การแช่เนื้อจำปาตะในสารละลายซูโครสแล้วนำขึ้นออกจากสารละลายแล้วจึงแช่เยือกแข็งต่อนั้นส่งผลต่อการคงอยู่ของสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะน้อยกว่าการนำเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งไปพร้อมสารละลาย ซึ่งพบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น จาก 0.47 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เหลือ 0.45 – 0.47 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อพิจารณาผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อความคงตัวของเบต้า

แคโรทีนที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลาเท่ากัน ผลพบว่า สารละลายน้ำตาลซูโครสมีแนวโน้มส่งผลต่อการเก็บรักษาเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งเมื่อต้องเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานคือ ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนจะยังคงสภาพอยู่ได้ในเนื้อจำปาตะในปริมาณสูงกว่าการที่ไม่ใช้สารละลายซูโครส และจะเห็นผลชัดเจนขึ้นเมื่อต้องเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้น ซึ่งการแช่เยือกแข็งร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ และ 40 องศาบริกซ์ ให้ผลในการรักษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) ที่ระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน เมื่อเทียบกับการแช่ในสารละลายน้ำตาลแล้วนำขึ้นแช่เยือกแข็ง แต่เมื่อระยะเวลาการแช่เยือกแข็งนานขึ้นเป็น 6 เดือน พบว่า การแช่ร่วมกับสารละลายน้ำตาลหรือ การเพียงแช่แล้วนำขึ้นแช่เยือกแข็งนั้น ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) แต่ทั้งนี้พบว่าการใช้สารละลายน้ำตาลจะมีแนวโน้มช่วยคงสภาพปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งไว้ได้ดีกว่าการไม่ใช้สารละลายน้ำตาลและสารละลายซูโครสความเข้มข้นสูงมีแนวโน้มจะช่วยคงสภาพเบต้าแคโรทีนได้ดีกว่าที่สารละลายความเข้มข้นต่ำ

Table 2 The effect of sucrose solution on the β -carotene content in frozen champedak pulp

Treatment	Frozen time (months)		
	0 ^{ns}	3	6
β -Carotene (mg/100g)			
Fresh champedak	0.47±0.04	0.47±0.04a	0.47±0.04 ^a
1	0.47±0.04	0.37±0.01b	0.23±0.01 ^{bc}
2	0.48±0.01	0.36±0.00b	0.22±0.01 ^c
3	0.44±0.02	0.33±0.04b	0.25±0.06 ^{ab}
4	0.46±0.03	0.35±0.01b	0.31±0.01 ^{ab}
5	0.44±0.02	0.45±0.04a	0.38±0.01 ^{ab}
6	0.46±0.03	0.47±0.01a	0.44±0.01 ^a

The letter a, b, c, ... showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident ($p \leq .05$)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident ($p > .05$)

The detail of treatment 1 – 6 was shown in table 1

เมื่อพิจารณาผลของค่าสี (Table 3) ซึ่งผลไม่มีสารสีเหลืองหมายความว่ามีการมีอยู่ของสารเบต้าแคโรทีนด้วย (Table 3) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลงจาก 51.89 ในเนื้อจำปาสด เป็น 36.25 – 52.96 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน และ เป็น 29.25 – 41.79 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ซึ่งสัมพันธ์กับผลของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนใน (Table 2) ที่ลดลงตามระยะเวลาการแช่เยือกแข็งที่นานขึ้น สารละลายน้ำตาลซูโครสส่งผลต่อค่าสีเหลือง (b^*) คือเมื่อละลายน้ำแข็งออกจากเนื้อจำปาแล้วเนื้อจำปาที่มีการแช่สารละลายหรือแช่เยือกแข็งร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสจะมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงกว่าเนื้อจำปาที่ไม่มีการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส แต่จะพบว่าเนื้อจำปาที่ไม่มีการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสจะมีค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นจากเดิมคือ 4.97 เป็น 6.02 – 13.29 ที่ระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน และ เป็น 6.37-12.89 ที่ระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 6 เดือน ซึ่งค่าสีแดงจะมีแนวโน้มคงที่เมื่ออายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น นอกจากนี้หลังการละลายน้ำแข็งแล้วยังพบว่าเนื้อจำปามีความคล้ำลง (L^*) จากเนื้อจำปาสด คือ ลดลงจาก 73.91 เป็น 64.99 – 71.55 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน

และ เป็น 53.41 – 65.93 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ซึ่งหมายความว่าเนื้อจำปาจะปรากฏลักษณะของความเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น และเมื่อระยะเวลาการแช่เยือกแข็งนานขึ้นพบว่าหลังการละลายน้ำแข็งแล้ว ลักษณะของความเป็นสีน้ำตาลในเนื้อจำปาจะปรากฏชัดขึ้นโดยเฉพาะในเนื้อจำปาที่ไม่ผ่านการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส การแช่เยือกแข็งไปพร้อมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสจะช่วยรักษาสีของเนื้อจำปาได้หลังจากการละลายไว้ได้ใกล้เคียงกับเนื้อจำปาสดมากที่สุด คือค่าสี ($L^* a^* b^*$) อยู่ในช่วง ($L^* : 70.22 - 71.55$) ($a^* : 6.02 - 6.64$) ($b^* : 45.39 - 52.96$) สำหรับระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน และอยู่ในช่วง ($L^* : 62.72 - 65.93$) ($a^* : 6.37 - 6.60$) ($b^* : 38.40 - 41.79$) สำหรับระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 6 เดือน สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์จะสามารถช่วยรักษาสีของเนื้อจำปาได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบไม่มีสารละลายน้ำตาลซูโครสช่วย การแช่เยือกแข็งไปพร้อมกันกับน้ำเปล่าจะทำให้ลักษณะปรากฏด้านสีของเนื้อจำปาแย่ที่สุด คือมีแนวโน้มค่าความสว่างลดลง ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และค่าความเป็นสีเหลืองลดลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเบต้าแคโรทีนที่มีแนวโน้มลดน้อยลงเช่นเดียวกัน

Table 3 The effect of sucrose solution on the color ($L^* a^* b^*$) of frozen champedak pulp after thawing. after thawing.

Treatment	Frozen time (months)					
	0			3		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	L^{*ns}	a^*	b^*
Fresh champedak	73.91±0.64	4.97±2.09	51.89±7.75	73.91±0.64	4.97±2.09 ^c	51.89±7.75a
1	73.91±0.64	4.97±2.09	51.89±7.75	64.99±6.01	11.85±0.78 ^{ab}	36.25±0.73 ^c
2	74.01±1.79	6.36±1.22	53.11±4.68	67.32±2.55	13.29±2.99 ^a	38.02±4.50 ^c
3	68.42±5.76	5.46±2.99	44.13±5.95	66.73±3.68	7.76±1.93 ^{bc}	41.74±7.38 ^c
4	70.22±2.16	5.62±3.11	45.89±7.64	69.20±6.16	7.36±1.22 ^c	44.34±5.91 ^{bc}
5	68.42±5.76	5.46±2.99	44.13±5.95	70.20±6.49	6.64±3.23 ^c	45.39±1.04 ^{abc}
6	70.22±2.16	5.62±3.11	45.89±7.64	71.55±6.74	6.02±3.02 ^c	52.96±8.52 ^{ab}

Table 3 (continue)

Treatment	Frozen time (months)		
	6		
	L*	a*	b*
Fresh champedak	73.91±0.64 ^a	4.97±2.09 ^c	51.89±7.75 ^a
1	53.41±2.07 ^{cd}	11.67±2.18 ^a	34.96±2.95 ^{bc}
2	53.89±2.35 ^d	12.89±2.29 ^a	29.25±2.24 ^c
3	60.02±2.78 ^c	10.82±3.61 ^{ab}	35.55±6.58 ^{bc}
4	62.03±2.09 ^{bc}	8.63±3.01 ^{abc}	36.25±0.73 ^{bc}
5	62.72±2.92 ^{bc}	6.60±0.99 ^{bc}	38.40±4.13 ^b
6	65.93±4.24 ^b	6.37±1.95 ^{bc}	41.79±7.86 ^b

The letter a, b, c, ... showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident ($p \leq .05$)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident ($p > .05$)

The detail of treatment 1 – 6 was shown in table 1

ผลของการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาแช่เยือกแข็ง

การบรรจุเนื้อจำปาแช่แบบสุญญากาศและการบรรจุในสภาวะที่ไม่ได้ดึงอากาศออกในระหว่างการแช่เยือกแข็งไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4) แต่พบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของเนื้อจำปาแช่ที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณลดลงเทียบกับจำปาแช่สดเมื่ออายุการเก็บรักษาในระหว่างการแช่เยือกแข็งนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในการทดลองที่ 1 คือ การแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาแช่ที่ระยะเวลา 3 และ 6 เดือน เมื่อผ่านการ

ละลายจะมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเมื่อผ่านการละลายจะลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าสี ($L^* a^* b^*$) (Table 5) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 คือ ค่าสี L และ b จะลดลงเมื่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนลดลง แต่ค่าสีแดง (a^*) กลับเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ค่าสีของการบรรจุแบบสุญญากาศยังพบว่า การบรรจุแบบสุญญากาศไม่ได้ช่วยรักษาลักษณะปรากฏด้านสีที่ดีของเนื้อจำปาแช่เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุแบบไม่ดึงอากาศ ($p > .05$) โดยพิจารณาจากค่าสีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) ของการบรรจุทั้ง 2 สภาวะที่เวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน และ 5 เดือนแคโรทีนที่มีแนวโน้มลดน้อยลงเช่นเดียวกัน

Table 4 The effect of vacuum and non-vacuum packing on the β -Carotene content in frozen

Treatment	Frozen time (months)		
	0 ^{ns}	3	6
	β -Carotene (mg/100g)		
Fresh Champedak	0.54±0.02	0.54±0.02 ^a	0.54±0.02 ^a
Vac	0.54±0.02	0.49±0.03 ^b	0.39±0.04 ^b
N Vac	0.54±0.02	0.47±0.04 ^b	0.37±0.01 ^b

Vac means vacuum packing / N Vac means non vacuum packing

The letter a, b showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident ($p \leq .05$)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident ($p > .05$)

Table 5 The effect of vacuum and non vacuum packing on the color (L^* a^* b^*) of frozen champedak.

Treatment	Frozen time (months)					
	0			3		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	L^{*ns}	a^*	b^*
Fresh champedak	70.22±2.16	9.89±5.82	40.30±4.20	70.22±2.16 ^a	9.89±5.82	40.30±4.20 ^a
Vac	70.22±2.16	9.89±5.82	40.30±4.20	68.18±2.04 ^a	10.05±4.93	36.25±0.73 ^{ab}
N Vac	70.22±2.16	9.89±5.82	40.30±4.20	58.63±2.70 ^b	13.29±2.99	31.36±1.38 ^b

Treatment	Frozen time (months)		
	6		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^*
Fresh champedak	70.22±2.16 ^a	9.89±5.82	40.30±4.20 ^a
Vac	59.36±3.55 ^b	13.16±5.93	31.36±1.38 ^b
N Vac	53.89±2.35 ^b	13.38±2.07	29.25±2.24 ^b

Vac means vacuum packing / N Vac means non vacuum packing

The letter a, b showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident ($p \leq .05$)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident ($p > .05$)

วิจารณ์

ผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

การลดลงของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเมื่อระยะเวลาการแช่เยือกแข็งนานขึ้นมีความเป็นไปได้ของการลดลงจาก 2 สาเหตุคือ สาเหตุที่ 1 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ลดลงเนื่องจากการเก็บรักษาด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งเป็นเวลานานส่งผลต่อผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดโตขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็งจนทำให้ความเสียหายให้กับเซลล์ผลไม้ เมื่อละลายน้ำแข็งปรากฏว่าสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ถูกบรรจุอยู่ในโครโมพลาสต์วไลซอลหลุดออกมาออกเซลล์พร้อมกับน้ำแข็งที่ละลายด้วย ทำให้สูญเสียปริมาณสารเบต้าแคโรทีนจากเนื้อจำปาตะแช่แข็งที่ผ่านการละลาย (รัชชานนท์ และ คณะ, 2563) สาเหตุที่ 2 การเกิดออกซิเดชันของสารเบต้าแคโรทีนกับออกซิเจนในระหว่างการละลายน้ำแข็งเนื่องจากในระหว่างการละลายน้ำแข็งนั้นไม่ได้ละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศและกระทำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งจึงมีโอกาสสูงมากที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันจากแสง

ร่วมด้วยซึ่งจะทำให้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนมีโอกาสลดลง (Dahlan, 2019; Netlak *et al.*, 2023)

สารละลายน้ำตาลซูโครสมีส่วนช่วยลดการสูญเสียปริมาณสารเบต้าแคโรทีนคือสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงหรือการสัมผัสกับสารละลายน้ำตาลเป็นระยะเวลานานพอน้ำตาลจะสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้แล้วไปเคลือบที่ผิวของเนื้อผลไม้ทำให้ช่วยเสริมความแข็งแรงของเซลล์พืชได้เซลล์ซึ่งมีน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นจะทำให้เซลล์พืชมีความแข็งแรงทนต่อการฉีกขาดเนื่องจากผลึกน้ำแข็งได้มากขึ้น (สุภาวดี, 2563) จึงทำให้ผลการทดลองพบว่าการแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาตะสดร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส 40 องศาบริกซ์ มีแนวโน้มคงไว้ซึ่งปริมาณสารเบต้าแคโรทีนได้สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งประสิทธิภาพของน้ำตาลซูโครสที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเซลล์พืชนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสและระยะเวลาการที่สารละลายซูโครสสัมผัสกับเซลล์พืชด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองของ จตุรงค์ และคณะ (2566) ที่แช่เยือกแข็งผลมะขวิดสดก่อนการอบแห้งโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส 50 องศาบริกซ์ และ

แช่ผลมะยมชนิดสดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่าปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนและคุณภาพด้านอื่นๆ ของผลมะยมชนิดสดมีคุณภาพที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะยมชนิดที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

นอกจากการแช่เยือกแข็งจะส่งผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ลดลงแล้ว ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนของค่าสี L^* : ความสว่าง a^* :ความเป็นสีแดง และ b^* :ความเป็นสีเหลือง ในเนื้อจำปาด้วย โดยพบว่าหลังจากการแช่เยือกแข็งแล้วค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) จะลดลงแต่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความสว่าง (L^*) กลับเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเชื่อมโยงไปถึงลักษณะความเป็นสีน้ำตาลในเนื้อผลไม้ ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อผลไม้ในที่นั้นจัดเป็นการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากสารประกอบฟีนอลในเนื้อผลไม้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนโดยมีเอนไซม์ Peroxidase (POD) ที่ถูกบรรจุอยู่ในเซลล์พืชเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งส่งผลให้สีของผลไม้เป็นสีน้ำตาลและมีสีคล้ำขึ้น โดยปกติการแช่เยือกแข็งจะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาจากเอนไซม์นี้ได้ แต่การแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาจะเป็นเวลานานทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่สามารถทำลายไลโซโซมและแวคิวโอล เมื่อละลายน้ำแข็งแล้วสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในเซลล์จึงถูกปล่อยออกมาเนื่องจากการเสียหายของเซลล์มาเจอกับสับสเตรตโดยมีเอนไซม์ POD ร่วมด้วย จึงสามารถทำปฏิกิริยากันได้

สารละลายน้ำตาลซูโครสมีส่วนช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดย สารละลายน้ำตาลซูโครสช่วยลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ POD กับ ออกซิเจน ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งจะใช้อุณหภูมิต่ำถึง -18 องศาเซลเซียส ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ซึ่งปฏิกิริยาจากเอนไซม์ POD จะทำงานได้น้อยมากแต่ในงานวิจัยนี้เป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าเพราะฉะนั้นปฏิกิริยาจากเอนไซม์ POD จึงยังไม่ถูกยับยั้งทันทีแต่จะยังคงทำงานและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อจำปาได้ตั้งแต่ก่อนการละลายน้ำแข็ง นอกจากนี้เมื่อนำเนื้อจำปามาละลายน้ำแข็งหลังจากการแช่เยือกแข็งที่ระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน ระหว่างการละลาย

น้ำแข็งนั้นเอนไซม์ POD จะยังสามารถกลับมาทำงานได้อีกครั้ง และการเกิดสีน้ำตาลมีแนวโน้มจะเกิดได้มากกว่าในเนื้อจำปาที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเนื่องจากเอนไซม์ POD และสารประกอบฟีนอล ที่ถูกเก็บอยู่ภายในเซลล์ผลไม้ เมื่อผลไม้โดนความร้อนหรือกระแทกจะทำให้เซลล์เสียหายและเปิดโอกาสให้เอนไซม์ สับสเตรตทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายขึ้น โดยมีเอนไซม์ POD เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะฉะนั้นหากเซลล์พืชเสียหายมากโอกาสปฏิกิริยาจะมีมากขึ้นด้วย (สงวนศรี, 2558)

ผลของการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

การคงอยู่ของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนนั้นขึ้นกับ การมีอยู่ของออกซิเจน แสง ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ (Kmieciak *et al.*, 2020) การรักษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนให้คงอยู่ได้นั้นจึงเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยในเรื่องเหล่านี้เป็นสำคัญ งานวิจัยนี้จึงได้นำเนื้อจำปาสดมาบรรจุในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอนขนาด 50x30 เซนติเมตร แล้วจึงดึงอากาศออกเพื่อให้เกิดภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับเนื้อจำปาสดที่บรรจุไว้ในถุงชนิดเดียวกันแต่ไม่ดึงอากาศออก พบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศหรือไม่ได้เป็นสุญญากาศไม่ได้ส่งผลต่อการคงอยู่ของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) และรวมไปถึงค่าสีที่ไม่ได้ส่งผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนไม่ได้ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะการแช่เยือกแข็ง แต่การแช่เยือกแข็งส่งผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ลดลงและค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาสด

สรุป

จากผลการทดลองทั้งหมดจึงสามารถสรุปได้ว่าการแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาสดที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส 40 องศาบริกซ์ มีแนวโน้มคงไว้ซึ่งปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

ได้สูงกว่าชุดการทดลองอื่น รวมถึงคงไว้ซึ่งความเป็นสีเหลืองของเนื้อจำปาตะได้ดีกว่าชุดทดลองอื่นเช่นเดียวกัน ส่วนผลของสภาวะการบรรจุนั้นพบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศหรือไม่ได้เป็นสุญญากาศไม่ได้ส่งผลต่อการคงอยู่ของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) และรวมไปถึงค่าสีที่ไม่ได้ส่งผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสควรเตรียมที่ความเข้มข้นสูงกว่า 50 องศาบริกซ์ เพื่อให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่าง TSS ในเนื้อจำปาตะ (30-35 องศาบริกซ์) กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และควรแช่ให้สารละลายน้ำตาลสัมผัสกับเนื้อจำปาตะเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงเพื่อให้เป็นระยะเวลานานพอที่เนื้อจำปาตะจะอิ่มตัวด้วยสารละลายน้ำตาล

2. ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งพร้อมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสจะมีแนวโน้มให้ผลที่ดีในทางปฏิบัติแต่การต้องแช่เยือกแข็งร่วมกับสารละลายเป็นปริมาณมากนั้นจะต้องอาศัยทรัพยากรตั้งแต่อุปกรณ์การแช่เยือกแข็งและเสียค่าพลังงานเพื่อใช้ในการเก็บรักษาสูงกว่าการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสและนำขึ้นเพื่อแช่เยือกแข็ง เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติเชิงค้าผู้วิจัยจึงแนะนำให้ใช้วิธีการแช่เนื้อจำปาตะในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ซึ่งให้ค่าความต่างของความเข้มข้นสารละลายกับความเข้มข้นของน้ำตาลในเนื้อจำปาตะซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 30-35 องศาบริกซ์ ความต่างของความเข้มข้นนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการแพร่ของสารละลายน้ำตาลเข้าสู่เนื้อจำปาตะได้ดีกว่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ต่ำกว่าคือ 20 องศาบริกซ์ และใกล้เคียงกับเนื้อจำปาตะคือ 40 องศาบริกซ์ ดังเช่นในการทดลองนี้ ควรแช่เนื้อจำปาตะเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงเพื่อให้เป็นระยะเวลานานพอที่เนื้อจำปาตะจะอิ่มตัวด้วยสารละลายน้ำตาลก่อน แล้วจึงวางไว้ให้สะเด็ดสารละลายส่วนเกินแล้วค่อยดำเนินการบรรจุในบรรจุภัณฑ์และแช่เยือกแข็ง

3. การพิจารณานำเนื้อจำปาตะมาแช่เยือกแข็งโดยการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสเป็น

สารปกป้องเซลล์ในสภาวะแบบไดนนั้น ควรคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของเนื้อจำปาตะหลังการละลายน้ำแข็งว่าเหมาะสมและยังคงลักษณะที่จะนำไปประกอบอาหารต่อไปได้โดยไม่เกิดปัญหาหรือไม่ หรือรสชาติอื่นเกิดจากการแช่ในสารละลายน้ำตาลเพื่อแปรรูปเป็นอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณแหล่งทุนวิจัย Fundamental Fund ปี 2566 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ประกอบการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, สุนัน ปานสาคร และอรวิทย์ อุปถัมภานนท์. 2566. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มะยงชิดอบสโมคิล. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 28(3): 2034-2053.
- ภาวิณี คามวุฒิ. 2558. วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจำปาตะในพื้นที่ภาคใต้ตอนบน. รายงานการวิจัย. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพมหานคร. 60 หน้า.
- รัชชานนท์ ทองแผ่น, เกศสุดา พวงรอด, วชิรญา อิมสบาย และอัญมณี อาวุธานนท์. 2563. ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการแช่แข็งและระยะเวลาในการแช่แข็งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อฟักทอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(3): 90-97.
- สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2558. เทคโนโลยีการแช่แข็งอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สหมิตรพรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 305 หน้า.

- สถานีวิทยุมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2566. โอกาสทองผลไม้ได้ “จำปาตะ” ดูแลง่าย ราคาดี มีอนาคต. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.psub.psu.ac.th/> (17 ตุลาคม 2567).
- สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์. 2567. จำปาตะลานสกา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.lansakachampedak.com/about-3-1> (30 ตุลาคม 67).
- สุภาวดี สมคะเน. 2563. การศึกษาอิทธิพลของการแช่เยือกแข็งต่อกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีอบสไมติกและคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพมหานคร. 115 หน้า.
- สำนักโภชนาการ. 2561. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพมหานคร.
- Bilge, A., V.G. Barbosa-Canovas, M.L.J. Danilo, G.V. Barbosa-Cánovas, B. Altunakar and D.J. Mejía-Lorío. 2005. Freezing of fruits and vegetables. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Dahlan, D. N. 2019. Analysis of beta-carotene content differences in cempedak (*Artocarpus champaden* Lour.) jam using traditional and carbides fruit ripening methods. Food Science and Technology Journal 2(2): 35-40.
- Chaves, A. and N. Zaritzky. 2018. Cooling and freezing of fruits and fruit products. Food Engineering Series. Springer, New York.
- James, C. and S. J. James. 2010. Freezing and thawing. Wiley-Blackwell, New Jersey.
- Kmiecik, W., G. Jaworska and Z. Lisiewska. 2000. Effect of sucrose, L-ascorbic acid and pectin on the quality of frozen strawberries. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities 3(2): 1-10.
- Lim, T. K. 2011. *Artocarpus integer*. pp. 337-343. In: Edible Medicinal and Non-Medicinal plants. Springer, Netherlands.
- Mantana, B., K.I. Buttara, and R.C. Keith. 2014. Characterization of potent odorants in Thai chempedak fruit (*Artocarpus integer* Merr.), an exotic fruit of Southeast Asia. Food Research International 66: 388-395.
- Mújica-Paz, H., A. Valdez-Fragoso, A. López-Malo, E. Palou and J. Welti-Chanes. 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. Journal of Food Engineering 57: 305-314.
- Netlak, P., R. Boonruangrod, C. Ampomah-Dwamena, A.C. Allan and W. Imsabai. 2023. β -carotene and lutein accumulation, and carotenoid biosynthetic gene expression during fruit development and fruit ripening of a genome banana. Scientia Horticulturae 307, doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111484