อิทธิพลของการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพเมล่อน

Influence of Osmodehydrofreezing on Melon Quality

อาภัสสร ศิริจริยวัตร*

Arpassorn Sirijariyawat*

คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร

Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus

วันที่รับบทความ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

วันที่ตอบรับตีพิมพ์ 1 กันยายน พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลและคุณภาพของเมล่อนแช่เยือกแข็ง โดยนำเมล่อนรูปลูกบาศก์มาแช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคส และสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้น 40% และ 60% เป็นเวลา 1-4 ชั่วโมงผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของน้ำตาลและความเข้มข้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการถ่ายเทมวล การใช้สารละลาย 60%กลูโคส ทำให้เมล่อนมีการสูญเสียน้ำและมีปริมาณของแข็งที่ได้รับมากที่สุด ส่งผลให้เมล่อนมีปริมาณความชื้นลดลงแต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างสด หลังจากผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งพบว่าเมล่อนที่ผ่านการกำจัดน้ำออกโดยกระบวนการออสโมซิสทุกตัวอย่างมีความแน่นเนื้อสูงกว่าและค่าการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ชนิด และความเข้มข้นของน้ำตาลมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของเมล่อนแช่เยือกแข็ง เมล่อนที่ผ่านการแช่ใน 60% กลูโคสมีความแน่นเนื้อสูงที่สุด แต่มีค่าความสว่างต่ำ และค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมมากกว่าตัวอย่างอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของน้ำตาลมีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหลังละลายน้ำแข็ง การใช้กลูโคสเป็นสารละลายออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งทำให้มีค่าการสูญเสียน้ำหลังละลายน้ำแข็งต่ำกว่าสารละลายซูโครส

คำสำคัญ : กระบวนการออสโมซิส ชนิดของน้ำตาล การแช่เยือกแข็ง เมล่อน เนื้อสัมผัส

Abstract

The effect of types and concentrations of sugar on mass transfer and quality of frozen melon was investigated. Melon cubes were immersed in glucose and sucrose solutions at the concentration of 40% and 60% for 1-4 hr. The result showed that, types and concentrations of sugar had a significant effect on mass transfer. The use of 60% glucose solution showed the highest water loss and solid gain. Thus, this sample had lower moisture content and higher total soluble solid content when compared with a fresh sample. Subsequent to freezing and thawing, all osmo-dehydrated melons had higher firmness and lower drip loss than the control sample. Types and concentrations of sugar showed a significant effect on quality of frozen melons. The melon which was immersed in 60% glucose solution had the highest firmness but lower lightness and higher total color difference than others. Moreover, the significant effect of sugar types on the drip loss was observed. The use of glucose as the osmotic solution before freezing caused the lower drip loss than sucrose solution.

Key words : osmosis, types of sugar, freezing, melon, texture

*** Corresponding author. E-mail** : csnaps@ku.ac.th

บทนำ

เมล่อน (*Cucumismelo* var. *inodorus*) เป็นผลไม้ที่มีการบริโภคแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีลักษณะรูปทรงกลมหรือรีมีรสหวาน กลิ่นหอม มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี เป็นแหล่งของวิตามินหลายชนิด โดยเฉพาะวิตามินเอ และวิตามินซี (Wolbang *et al*., 2008; Laur & Tian, 2011) สามารถทานได้ทั้งผลสด หรือนำมาผ่านกระบวนการต่างๆเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความสะดวกในการขนส่ง กระบวนการแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งมีการนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาเมล่อนเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ต ของหวาน กระบวนการแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการถนอมอาหารโดยการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำถึงระดับที่ชะลอหรือหยุดปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของจุลินทรีย์ได้ ช่วยให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้เป็นเวลานาน ลดการเน่าเสียของผลิตผลทางการเกษตร สามารถขนส่งจำหน่ายได้ในระยะไกล และเป็นกระบวนการถนอมอาหารที่สามารถคงความสดของอาหาร รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้ค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ อย่างไรก็ดีผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในกระบวนการแช่เยือกแข็งมีผลกระทบโดยตรงต่อเซลล์ของอาหาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ มีการสูญเสียน้ำและสารอาหารบางส่วนออกจากผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการละลายน้ำแข็ง ดังนั้นหากสามารถลดปริมาณน้ำในอาหารลงได้ ก็จะเป็นการลดปริมาณผลึกน้ำแข็งที่จะเกิดขึ้นและลดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆ

กระบวนการออสโมซิส (Osmosis) เป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดน้ำออกจากอาหาร โดยการนำอาหารแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง สารละลายที่นิยมใช้คือน้ำตาล หรือ เกลือ น้ำจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจาก สารละลายที่เจือจางผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) ซึ่งในที่นี้คือเยื่อหุ้มเซลล์ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าที่ล้อมรอบอยู่ ในขณะเดียวกันตัวถูกละลายบางส่วนจะเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ (Chandra & Kumari, 2015) มีนักวิจัยหลายท่านศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการออสโมซิส รวมถึงการนำกระบวนการออสโมซิสไปใช้ร่วมกับกระบวนการแปรรูปอื่นในผักผลไม้หลายชนิด (James *et al*., 2014) เช่น มะละกอ กล้วย และสับปะรด (Udomkun *et al*., 2015; Verma *et al*., 2014; Fernandes *et al*., 2009) เนื่องจากกระบวนการออสโมซิสสามารถกำจัดน้ำออกจากอาหารได้บางส่วน ดังนั้นการนำกระบวนการออสโมซิสมาใช้ในการเตรียมผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง นอกจากจะมีข้อดี คือ เป็นการประหยัดพลังงานที่จะใช้ในกระบวนการแช่เยือกแข็งแล้วยังอาจส่งผลดีต่อคุณค่าทางโภชนาการและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อีกด้วย โดยตัวถูกละลายที่นำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสจะต้องไม่เป็นพิษและมีรสชาติที่ดี ตัวถูกละลายหลักที่มีการใช้โดยทั่วไปในกระบวนการออสโมซิสสำหรับผลไม้คือน้ำตาลซูโครส (James *et al*., 2014; Chandra & Kumari, 2015) อย่างไรก็ดีชนิดของน้ำตาลและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสมีความสำคัญต่อปริมาณน้ำที่ถูกกำจัดออกและปริมาณตัวถูกละลายที่เคลื่อนที่เข้าสู่อาหาร (Harris *et al*., 1999) มีการรายงานว่าการใช้น้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และการใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้การกำจัดน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น ในขณะเดียวกันการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าสู่อาหารก็เกิดขึ้นมากด้วย (Lazarides, 2001; Chandra & Kumari, 2015) นอกจากนี้ Marani *et al*. (2007) ยังได้รายงานว่าการสูญเสียน้ำและการแพร่ของตัวถูกละลายยังขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ และชนิดของผลไม้ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของชนิดของตัวถูกละลายซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน คือน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่และน้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวล และคุณภาพของเมล่อนแช่เยือกแข็ง

วิธีการวิจัย

1) การเตรียมวัตถุดิบ โดยนำเมล่อน (*Cucumismelo* var. *inodorus*) พันธุ์ฮันนี่เวิลด์ ซึ่งไม่มีรอยตำหนิ มีขนาดผล สีเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ใกล้เคียงกัน นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก ผ่าครึ่งตามยาว ควั่นเมล็ดออก และล้างทำความสะอาดอีกครั้ง จากนั้นตัดเมล่อนเป็นรูปลูกบาศก์ขนาด 2 cm. นำเมล่อนสดไปทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด ค่าสี ความแน่นเนื้อ และปริมาณความชื้น

2) การกำจัดน้ำออกด้วยกระบวนการออสโมซิส โดยนำเมล่อนที่เตรียมไว้ แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์1% เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำสะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ นำเมล่อนที่ได้ไปผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลกลูโคส และซูโครสความเข้มข้น 40%w/w และ 60 %w/w เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ภายหลังจาก 4 ชั่วโมง อัตราการถ่ายเทมวลมีค่าลดลง) วัดปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ทุก 1 ชั่วโมง และคำนวณค่าร้อยละการสูญเสียน้ำ (Water loss) และร้อยละของแข็งที่ได้รับ (Solid gain) (El-Aouar *et al*., 2006) ดังสมการ

- ร้อยละการสูญเสียน้ำ (Water loss: WL)

$$WL(\%) = \frac{W_i X_i - W_f X_f}{W_i} \times 100 \qquad (1)$$

- ร้อยละของแข็งที่ได้รับ(Solid gain: SG)

$$SG(\%) = \frac{\left(W_f\left(1-\frac{X_f}{100}\right) - W_i\left(1-\frac{X_i}{100}\right)\right.}{W_i} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ w_i = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

w_f = น้ำหนักตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส (g)

x_i = ความชื้นเริ่มต้น (g/100 g sample)

x_f = ความชื้นสุดท้าย (g/100 g sample)

3) การศึกษาคุณภาพของเมล่อนแช่เยือกแข็ง โดยนำเมล่อนสด และเมล่อนที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลกลูโคส และซูโครสความเข้มข้น 40% และ 60% มาบรรจุในถุงพลาสติก และนำไปแช่เยือกแข็งโดยใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบใช้ลมเย็น (Air blast freezer) ที่อุณหภูมิ -30°C จนกระทั่งเมล่อนมีอุณหภูมิ -25°C เก็บเมล่อนไว้ที่อุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

4) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ โดยนำเมล่อนมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 120 นาที ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพดังนี้

- ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ โดยใช้ Hand Refractometer
- วัดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 105°C (AOAC, 2005)
- วัดค่าสี โดยตรวจสอบค่าสีของเนื้อเมล่อนด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (mini scan XE plus , Hunter Associates Laboratory, Inc.,U.S.A)โดยวัดค่าสีในระบบ Hunter (L*, a*, b*)และคำนวณค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE*) โดย

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2} \quad (3)$$

เมื่อ L^*_1และ L^*_2คือ ค่าความสว่างของตัวอย่างสดและตัวอย่างหลังละลายน้ำแข็งตามลำดับ

a^*_1และ a^*_2 คือ ค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างสดและตัวอย่างหลังละลายน้ำแข็งตามลำดับ

b^*_1และ b^*_2 คือ ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างสดและตัวอย่างหลังละลายน้ำแข็งตามลำดับ

- วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (TA.XT Plus ,Stable Micro Systems LTD.,UK) Load cell 25 kg. หัววัดชนิด Puncture probe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม.Test speed 1.0 m/s (ดัดแปลงจาก Vicente *et al*., 2005)

- การสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็ง (% Drip loss) โดยนำตัวอย่างเมล่อนแช่เยือกแข็งวางบนกระดาษซึ่งผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ว จากนั้นบรรจุในถุงพลาสติก ปิดปากถุง ทำการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำกระดาษออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (Sirijariyawat & Charoenrein, 2012) และคำนวณค่าการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งได้จากสมการ

$$\text{Drip loss (g/100g sample)} = (W_t - W_0) \times 100 / W_s \quad (4)$$

เมื่อ W_t = น้ำหนักกระดาษหลังละลายน้ำแข็ง (g)

W_0 = น้ำหนักกระดาษก่อนละลายน้ำแข็ง (g)

W_s = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

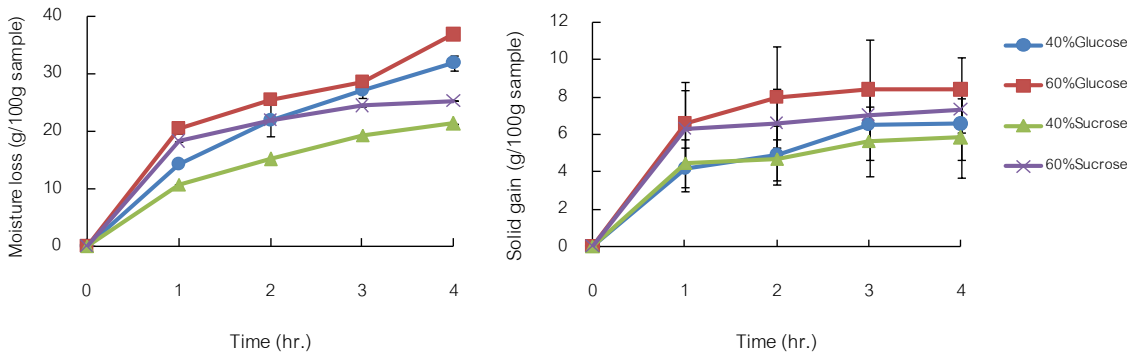
ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. การถ่ายเทมวลในกระบวนการออสโมซิส

ผักและผลไม้เมื่อนำมาผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเกิดการสูญเสียน้ำทำให้มีปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากเมื่อนำอาหารแช่ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง น้ำจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากสารละลายที่เจือจางภายในเซลล์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าที่ล้อมรอบ (Chandra & Kumari, 2015) การสูญเสียน้ำนี้ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหาร อย่างไรก็ดีการสูญเสียน้ำอาจส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของอาหาร เช่น เนื้อสัมผัส ขนาด และรูปร่าง เปลี่ยนแปลงไป (Chiralt & Talens, 2005) จากภาพที่ 1 เห็นได้ว่าร้อยละการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากเมื่อเวลานานขึ้นส่งผลให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเมล่อนมากขึ้น จากตารางที่ 1 พบว่าชนิดของสารละลายน้ำตาลที่แตกต่างกันมีผลทำให้ร้อยละการสูญเสียน้ำในเมล่อนหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)โดยสารละลายกลูโคสทำให้เมล่อนมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำสูงกว่าสารละลายซูโครส และความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อร้อยละการสูญเสียน้ำโดยการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 60% มีร้อยละการสูญเสียน้ำสูงกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 40%

Chandra & Kumari (2015) รายงานว่าการใช้น้ำเชื่อมที่มีค่า Dextrose equivalent สูงช่วยเพิ่มความสามารถในการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ หรือกำจัดน้ำออกจากอาหาร ซึ่งค่า Dextrose equivalent นี้มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล

ของน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าการใช้กลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (น้ำหนักโมเลกุล 180) ทำให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (น้ำหนักโมเลกุล 342) (Mudambi *et al*., 2006) นอกจากนี้การแพร่ของน้ำเกิดจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายออสโมติก (Dit-udom-po & Pittarate, 2007) โดยสารละลายที่อยู่ภายนอกเซลล์ของเมล่อนมีความเข้มข้นที่สูงกว่าสารละลายที่อยู่ภายในเมล่อนจึงเกิดการแพร่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจึงเป็นการเพิ่มความแตกต่างของแรงดันออสโมติกตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 60%จึงมีร้อยละการสูญเสียน้ำสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 40% อย่างไรก็ดีจากภาพที่ 1 (a) แสดงให้เห็นว่าการใช้ 60% ซูโครส หลังจากผ่านการออสโมซิส 2 ชั่วโมง การสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง เนื่องจากตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากเช่นน้ำตาลซูโครสเมื่อมีความเข้มข้นสูงอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นชั้นบางอยู่ที่ผิวของตัวอย่างเป็นเหมือนกำแพงกั้นขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากตัวอย่างจึงทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ลดลง (Chandra & Kumari, 2015; Saurel *et al*., 1994) จากร้อยละการสูญเสียน้ำที่แตกต่างกันส่งผลให้เมล่อนหลังจากผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน โดยการแช่เมล่อนใน 60%กลูโคส ทำให้ปริมาณความชื้นของเมล่อนลดลงมากที่สุดโดยลดลงจาก 91.31 g/100g sample เป็น 77.05 g/100g sample หลังจากการออสโมซิสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงดังภาพที่ 2 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างนี้มีผลอย่างมากต่อปริมาณน้ำแข็งที่จะเกิดขึ้นเมื่อนำเมล่อนไปแช่เยือกแข็ง ปริมาณความชื้นที่ลดลง ส่งผลให้จำนวนผลึกน้ำแข็งลดลงด้วย ซึ่งส่งผลดีต่อเนื้อสัมผัสของอาหารแช่เยือกแข็ง

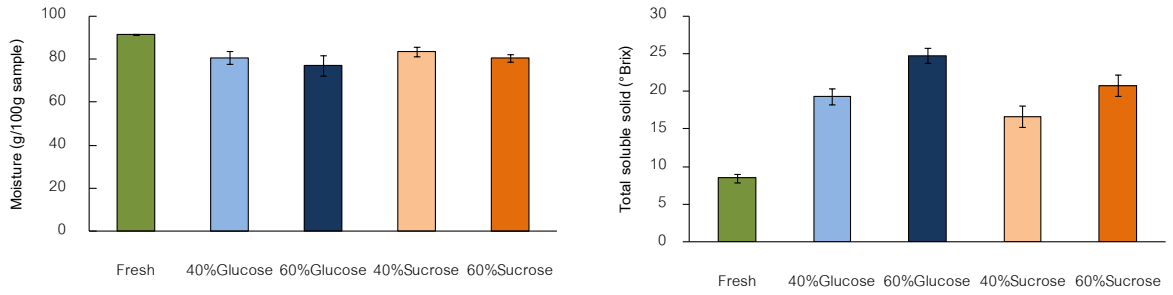


(a) (b)

ภาพที่ 1 ร้อยละการสูญเสียน้ำ (a) และร้อยละของแข็งที่ได้รับ (b) ของเมล่อนหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส1-4 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการสูญเสียน้ำ ร้อยละของแข็งที่ได้รับ ปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้หลังจากการออสโมซิส 4 ชั่วโมง

Source of variation	p-value									
	Water loss				Solid gain				Moisture content	Total soluble solid
	1 hr.	2 hr.	3 hr.	4 hr.	1 hr.	2 hr.	3 hr.	4 hr.		
Sugar	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.942	0.184	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Concentration	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sugar x Concentration	0.077	0.180	<0.05	0.379	0.540	0.305	0.539	0.583	0.668	<0.05



(a) (b)

ภาพที่ 2 ปริมาณความชื้น (a) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (b) ของเมล่อนหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส 4 ชั่วโมง

ร้อยละของแข็งที่เพิ่มขึ้นในเมล่อนจะมีอัตราการเพิ่มที่น้อยกว่าร้อยละการสูญเสียน้ำ ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 1 ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงแรก ร้อยละของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในระยะแรกมีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายสูง โมเลกุลของน้ำตาลจึงแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ดี ส่วนชั่วโมงที่ 2, 3 และ 4 ร้อยละของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปโมเลกุลของสารละลายน้ำตาลบางส่วนสะสมอยู่บนผิวหน้า และความเข้มข้นของสารละลายลดลง เพราะน้ำจากเซลล์แพร่ออกมา ทำให้ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายลดลง จึงทำให้ความสามารถในการแพร่ของโมเลกุลน้ำตาลลดลง เป็นผลให้ร้อยละของแข็งที่ได้รับในเมล่อนเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับร้อยละการสูญเสียน้ำชนิดของสารละลายน้ำตาลที่แตกต่างกันมีผลต่อร้อยละของแข็งที่ได้รับ ($p \leq 0.05$) โดยสารละลายกลูโคสจะทำให้เมล่อนมีค่าร้อยละของแข็งที่ได้รับสูงกว่าสารละลายซูโครส และความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อร้อยละของแข็งที่ได้รับโดยการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 60% มีร้อยละของแข็งที่ได้รับสูงกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 40% เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงจะเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายออสโมติกสูง จึงเกิดแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสาร คือเกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ผลไม้ไปยังสารละลาย และตัวถูกละลาย (น้ำตาล) แพร่จากสารละลายออสโมติกเข้าสู่ผลไม้ ทำให้ผลไม้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (Dit-udom-po & Pittarate, 2007) Chandra and Kumari (2015) รายงานว่าการใช้น้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีการแพร่ในอัตราที่สูงทำให้ปริมาณของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้น และการใช้ตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากเมื่อมีความ

เข้มข้นสูงอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นเหมือนกำแพงกั้นจึงทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ลดลง (Chandra & Kumari, 2015; Saurel *et al*., 1994) Barbosa Junior *et al.* (2013) ศึกษาการกำจัดน้ำออกโดยแรงดันออสโมติกในเมล่อนสีส้ม โดยใช้คอร์นไซรัปและสารละลายซูโครส จากการศึกษาพบว่าอัตราการกำจัดน้ำออก และของแข็งที่ได้รับมีค่าสูงเมื่อใช้น้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง การเคลื่อนที่ของน้ำและของแข็งในระหว่างกระบวนการออสโมซิสเป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางผ่านทางเยื่อเลือกผ่าน ดังนั้นน้ำซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กสามารถผ่านออกนอกเซลล์ได้ดีกว่าการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายเข้าไปในเซลล์ Martinez-Valencia *et al.* (2011) ศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครส (40, 50, 60%w/w) ต่อคุณภาพของเมล่อน (*Cucumismelo* L.) var. cantaloupe พบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำมีค่ามากกว่าร้อยละของแข็งที่ได้รับ และความเข้มข้นของซูโครสมีผลต่อการสูญเสียน้ำแต่ไม่มีผลต่อของแข็งที่ได้รับ Ferrari and Hubinger (2008) นำเมล่อน (*Cucumismelo* L.) variety *inodorus* มาผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโคสและมอลโตสความเข้มข้น 40 และ 60%w/w พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้การกำจัดน้ำออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากความดันออสโมติกสูงที่ผิวสัมผัสระหว่างผลิตภัณฑ์และสารละลายทำให้ความสามารถในการแพร่ของน้ำสูงขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลจึงเพิ่มขึ้น และพบว่าการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นมากในช่วง 2 ชั่วโมงแรก เนื่องจากแรงขับสูง (Driving force) ระหว่างผลไม้กับสารละลายเข้มข้น ส่วนปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างซูโครสและมอลโตส เมล่อนที่ออสโมซิสในมอลโตสมีปริมาณของแข็งที่ได้รับน้อยกว่าซูโครส เนื่องจากมอลโตสมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าซูโครสทำให้กำจัดน้ำออกได้มากแต่มีปริมาณของแข็งที่เข้าไปได้น้อย ซึ่งการศึกษาเหล่านี้สอดคล้องกับผลการวิจัยซึ่งพบว่าการใช้น้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และการใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้นสูง (60%) ทำให้การกำจัดน้ำออกและของแข็งที่ได้รับมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือการใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้นต่ำ (40%) ส่งผลให้เมล่อนซึ่งผ่านการออสโมซิสใน 60% กลูโคส มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงที่สุด โดยเพิ่มขึ้นจาก 8.47°Brixไปเป็น 24.73°Brix อย่างไรก็ดีร้อยละการสูญเสียน้ำและของแข็งที่ได้รับนอกจากจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของน้ำตาลที่ใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ด้วย (Marani *et al*., 2007)

2. สมบัติทางเคมีและกายภาพของเมล่อนหลังการแช่เยือกแข็ง

2.1 ค่าสี

สีเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภคร่วมกับลักษณะปรากฏอื่นๆ ค่าสีของเมล่อนสดและเมล่อนซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งแสดงไว้ดังตารางที่ 2 หลังจากการแช่เยือกแข็งค่าสีของเมล่อนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีสีเขียวลดลงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความแตกต่างของสีรวมอยู่ระหว่าง 0.82-1.58 ยกเว้นตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสใน 60%กลูโคสซึ่งมีความแตกต่างของสีรวม 5.58 ชนิดของสารละลายน้ำตาลและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีผลต่อค่า L* a* b* และความแตกต่างของสีรวมของเมล่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3) โดยเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสใน 60%กลูโคสมีความสว่างต่ำที่สุด และมีค่าความแตกต่างของสีรวมมากที่สุด เนื่องจากการใช้สารละลายกลูโคส 60% เกิดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ของเมล่อนในระหว่างกระบวนการออสโมซิสมากที่สุด และมีปริมาณของแข็งที่ได้รับสูงที่สุด ซึ่งนอกจากจะทำให้ความเข้มข้นของสารสีที่มีอยู่ในตัวอย่างมีความเข้มข้นขึ้นแล้วยังทำให้การหักเหของแสงและการสะท้อนแสงของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไป (Chiralt & Talens, 2005; Martinez-Valencia *et al*., 2011) จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุดด้วย Martinez-Valencia *et al.* (2011) ศึกษาการออสโมซิสในตัวอย่างเมล่อน (*Cucumismelo* L.) var. cantaloupe รายงานว่าความเข้มข้นของซูโครสมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมล่อนหลังจากออสโมซิส การเปลี่ยนแปลงสีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้

ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิสมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมล่อน อย่างไรก็ดีจากการศึกษาของ Marani *et al.* (2007) ซึ่งศึกษาการใช้กระบวนการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งโดยใช้สารละลายน้ำตาลหลายชนิด ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตสไซรัป และน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงพบว่าการใช้กระบวนการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งช่วยใช้ความแตกต่างของสีรวมของแอปเปิ้ลและแพร์ลดลง แต่ไม่มีผลในตัวอย่างกีวี่และสตรอเบอรี่ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าความแตกต่างของสีรวมนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลแล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ด้วย

ตารางที่ 2 ค่าสีของเมล่อนสดและเมล่อนหลังการละลายน้ำแข็ง

Type of sugar	Concentration (%)	L*	a*	b*	ΔE*
Glucose	40	50.82± 0.25	-6.62 ± 0.04	22.09 ± 0.10	1.57±0.27
	60	45.85± 0.19	-6.37 ± 0.02	21.01± 0.20	5.58±1.15
Sucrose	40	51.66 ± 1.51	-6.68 ± 0.09	21.49 ± 0.47	0.82±0.21
	60	50.21 ± 1.11	-6.25 ± 0.10	21.40 ± 0.33	1.58±0.23
Control sample		51.45 ± 0.83	-6.86 ± 0.10	21.87 ± 0.31	1.02±0.01
Fresh sample		51.36 ± 1.36	-7.26 ± 0.05	21.01 ± 0.26	-

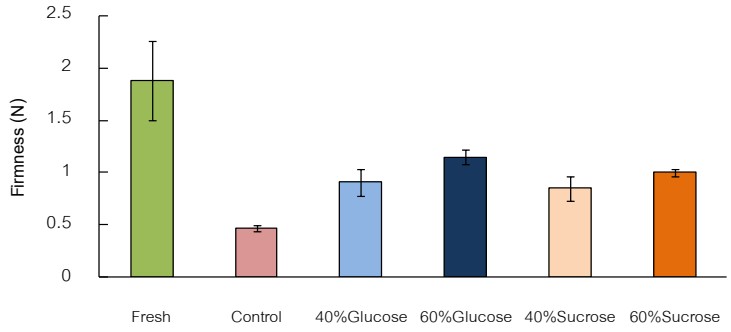
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพของเมล่อนหลังการละลายน้ำแข็ง

Source of variation	p-value					
	L*	a*	b*	ΔE*	Firmness	Drip loss
Sugar	<0.05	0.352	0.423	<0.05	<0.05	<0.05
Concentration	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.256
Sugar x Concentration	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.231	0.912

2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นอีกหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของผลไม้ ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งส่งผลอย่างมากต่อการทำลายเซลล์ของอาหาร โดยเฉพาะผักผลไม้ซึ่งมีโครงสร้างเซลล์ที่แข็งแรง จึงได้รับความเสียหายจากผลึกน้ำแข็งมากกว่าโครงสร้างที่ยืดหยุ่น ขนาดความเสียหายขึ้นอยู่กับขนาดของผลึกน้ำแข็ง และอัตราการถ่ายเทความร้อน ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบและวิธีการจัดการก่อนการแช่เยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร จากภาพที่3 พบว่าค่าความแน่นเนื้อของเมล่อนตัวอย่างควบคุมหลังจากการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งมีค่าลดลงถึง 75% ในขณะที่เมล่อนที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งมีความแน่นเนื้อลดลง 34.8-54.8% เมื่อเปรียบเทียบกับเมล่อนสด แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างควบคุมเกิดความเสียหายของเซลล์เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิส Wen *et al.* (2015) พบว่าความแน่นเนื้อของเมล่อน (Hami melon) ลดลงจาก 32.35 N เป็น 8 N หลังจากผ่านการแช่เยือกแข็งหรือลดลง 75.3% ของความ

แน่นเนื้อเริ่มต้น การลดลงของความแน่นเนื้อเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งระหว่างการแช่เยือกแข็งทำให้เซลล์เมมเบรนและผนังเซลล์ถูกทำลายส่งผลให้แรงดันเต่งลดลงดังนั้นผลไม้หลังการแช่เยือกแข็งจึงมีความแน่นเนื้อลดลง (Sirijariyawat *et al*., 2012; Sirijariyawat & Charoenrein, 2014)



ภาพที่ 3 ความแน่นเนื้อของเมล่อนสดและเมล่อนหลังจากผ่านการละลายน้ำแข็ง

ชนิดของสารละลายน้ำตาลมีผลต่อความแน่นเนื้อของเมล่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3) โดยเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายกลูโคสมีความแน่นเนื้อมากกว่าเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครส ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีผลต่อความแน่นเนื้อของเมล่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) โดยเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความแน่นเนื้อมากกว่าเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากการใช้กลูโคส และความเข้มข้นของน้ำตาลในระดับสูงทำให้เมล่อนเกิดการสูญเสียน้ำออกมามาก ซึ่งสอดคล้องกับร้อยละการสูญเสียน้ำและปริมาณความชื้นของเมล่อนหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะเปลี่ยนไปเป็นน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งจึงมีน้อยลง ทำให้เกิดความเสียหายของเซลล์เมล่อนน้อยลง จึงทำให้เมล่อนมีลักษณะความแน่นเนื้อที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น

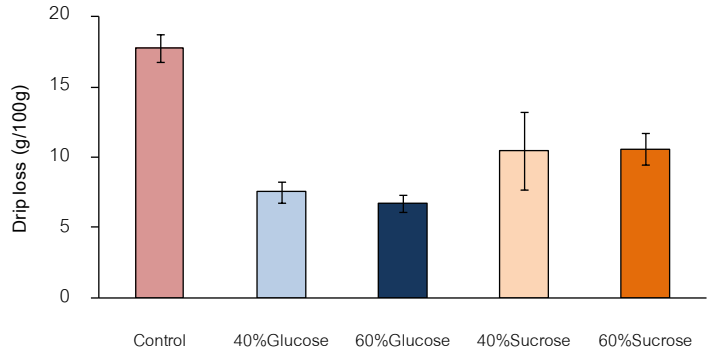
James *et al.* (2014) รายงานว่าการกำจัดน้ำออกก่อนการแช่เยือกแข็ง (Dehydrofreezing) ช่วยลดเวลาในการแช่เยือกแข็ง ลดจุดเยือกแข็ง และปริมาณน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ และเป็นกระบวนการที่เหมาะกับผักและผลไม้ เนื่องจากผักและผลไม้ประกอบด้วยน้ำในปริมาณมาก และโครงสร้างเซลล์มีความยืดหยุ่นน้อยจึงได้รับความเสียหายจากการแช่เยือกแข็งมาก และรายงานว่าการนำกระบวนการออสโมซิสมาใช้ก่อนการแช่เยือกแข็งช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของแอปเปิ้ล มะเขือม่วง บรอคโคลี่ แครอท แตงกวาและถั่ว อย่างไรก็ดีการนำกระบวนการออสโมซิสมาใช้ร่วมกับการแช่เยือกแข็งไม่ได้ให้ผลดีกับผลไม้ทุกชนิด Lowithun and Charoenrein (2009) ศึกษาผลของการกำจัดน้ำออกโดยกระบวนการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพเงาะ โดยนำเงาะมาแช่ในสารละลายน้ำตาลที่แตกต่างกัน (ซูโครส,ทรีฮาโลส (trehalose), และมอลทิทอล (maltitol)) ความเข้มข้น 50°Brix ที่อุณหภูมิ 30°C แล้วนำมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C หลังจากการละลายน้ำแข็งพบว่าความแน่นเนื้อของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

2.3 การสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็ง

ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในกระบวนการแช่เยือกแข็งมีผลกระทบโดยตรงต่อเซลล์อาหาร โดยจะเกิดการทิ่มแทงเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการฉีกขาด ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและสารอาหารบางส่วนออกจากผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการละลาย

น้ำแข็ง จากภาพที่ 4 แสดงค่าการสูญเสียน้ำหลังละลายน้ำแข็ง (Drip Loss) พบว่าเมล่อนที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสทุกตัวอย่างมีค่าการสูญเสียน้ำหลังละลายน้ำแข็งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างควบคุมเซลล์ของเมล่อนเกิดความเสียหายมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิส โดยตัวอย่างควบคุมมีการสูญเสียน้ำ 18.39% ซึ่งใกล้เคียงกับการรายงานผลของ Wen *et al.* (2015) ซึ่งรายงานว่าเมล่อน (Hami melon) ซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60°C ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง (19-20°C) มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำ 22.42 อย่างไรก็ดีร้อยละการสูญเสียน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ สภาวะในการแช่เยือกแข็ง และการละลายน้ำแข็ง เป็นต้น

เมื่อพิจารณาชนิดของสารละลายน้ำตาลพบว่าชนิดของสารละลายน้ำตาล มีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็ง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3) โดยเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสมีปริมาณการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งมากกว่าเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายกลูโคส โดยความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อค่าสังเกต ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ใช้สารละลายซูโครสเกิดการเสียหายของเซลล์มากกว่าตัวอย่างที่ใช้สารละลายกลูโคส เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้สารละลายกลูโคสมีปริมาณน้ำภายในเซลล์น้อยแต่มีปริมาณของแข็งมาก จึงทำให้เซลล์เกิดการเสียหายน้อยทำให้มีปริมาณการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับร้อยละการสูญเสียน้ำ ปริมาณความชื้น และค่าความแน่นเนื้อ



ภาพที่ 4 การสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งของเมล่อน

Lowithun and Charoenrein (2009) รายงานว่าเงาะทุกตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดน้ำออกโดยกระบวนการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งมีการสูญเสียน้ำหลังการละลายต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ผ่านกระบวนการใด โดยที่ชนิดของน้ำตาลไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหลังการละลาย Xu *et al.* (2014) รายงานว่าการกำจัดน้ำด้วยกระบวนการออสโมซิสสำหรับแรดิช (Radish) โดยใช้60%ซูโครส ที่อุณหภูมิ30°C ก่อนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20°C ทำให้ปริมาณน้ำที่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งได้ (Freezable water) ลดลง และหลังจากการละลายน้ำแข็งตัวอย่างควบคุมมีการสูญเสียน้ำมากที่สุด และยังมีรายงานผลของการใช้กระบวนการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งในการลดการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งในผลไม้อีกหลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล กีวี่ เมล่อน แพร์ และสตรอเบอรี่ (James *et al.*, 2014; Marani *et al.*, 2007; Maestrelli *et al.*, 2001)

สรุปผลการวิจัย

การนำเมล่อนมาผ่านกระบวนการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และลดค่าการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งของเมล่อน ซึ่งการสูญเสียความแน่นเนื้อ และการสูญเสียน้ำนี้เป็นปัญหาหลักที่พบในผลไม้

แช่เยือกแข็ง ผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตส่งผลให้เมล่อนแช่เยือกแข็งมีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยเมล่อนที่ผ่านการออสโมซิสใน 60% กลูโคสมีความแน่นเนื้อสูงที่สุดและมีการสูญเสียน้ำหลังละลายน้ำแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างการออสโมซิสมาก อย่างไรก็ดีเมล่อนแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสใน 60% กลูโคสมีค่าความสว่างต่ำ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมมากกว่าตัวอย่างอื่น และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างอื่น

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2005).*Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*.(18th ed).Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Barbosa Junior, J. L., Mancini, M. C., & Hubinger, M. D. (2013). Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. *International Journal of Food Science and Technology, 48*(12), 2463-2473.

Chandra, S., & Kumari, D. (2015). Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55*(4), 552-561.

Chiralt, A., & Talens, P. (2005). Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*, *67*, 167-177.

Dit-udom-po. S., & Pittarate, C. (2007). Mass transfer during osmotic of tomato using sucrose, sorbitol and maltitol. *Journal of Agricultural Science*, *8*(6), 115-118.

El-Aouar, A.A., Azoubel, P.M., Barbosa Jr, J.L., & Murr, F.E.X. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydrationof papaya (*Carica papaya L.*). *Journal of Food Engineering*, *75*, 267–274.

Fernandes, F.A.N., Gallao, M.I., & Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering, 90*(2), 186-190.

Ferrari, C.C., & Hubinger, M.D. (2008). Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science and Technology, 43*(11), 2065-2074.

Harris, N.L., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V., & Lenart, A. (1999). Advances in osmotic dehydration. In F.A.R. Oliveira & J.C. Oliveira.(Eds.). *Processing foods: Quality optimization and process assessment*. (pp. 175-199).Florida: CRC Press.

James, C., Purnell, G., & James, S.J. (2014). A Critical Review of Dehydrofreezing of Fruits and Vegetables. *Food and Bioprocess Technology, 7*(5), 1219-1234.

Laur, L. M., & Tian, L. (2011). Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and honeydew melons and imported melons. *Journal of Food Composition and Analysis, 24*(2), 194-201.

Lazarides, H.N. (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. In P. Fito, A. Chiralt, J.M. Barat, W.E.L. Spiess & D. Behsnilian. (Eds.). *Food*

preservation technology series: Osmotic dehydration & vacuum impregnation: Applications in food industries. (pp.33-42). Pennsylvania: Technomic Publishing Company.

Lowithun, N., & Charoenrein, S. (2009). Influence of osmodehydrofreezing with different sugars on the quality of frozen rambutan. *International Journal of Food Science and Technology, 44*(11), 2183-2188.

Maestrelli, A., Lo Scalzo, R., Lupi, D., Bertolo, G., & Torreggiani, D. (2001). Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv reticulatus Naud.). *Journal of Food Engineering, 49*(2–3), 255-260.

Marani, C.M., Agnelli, M.E., & Mascheroni, R.H. (2007). Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering, 79*(4), 1122-1130.

Martinez-Valencia, B.B., Abud-Archila, M., Ruiz-Cabrera, M.A., Grajales-Lagunes, A., Dendooven, L., Ovando-Chacon, S.L., & Gutierrez-Miceli, F.A. (2011). Pulsed vacuum osmotic dehydration kinetics of melon (*Cucumis melo* L.) var. cantaloupe. *African Journal of Agricultural Research, 6*(15), 3588-3596.

Mudambi, S.R., Rao, S.M., & Rajagopal, M.V. (2006). *Food Science*. New Delhi: New Age International (P) Ltd.

Saurel, R., Raoult-Wack, A.-L., Rios, G., & Guilbert, S. (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science & Technology, 29*(5), 531-542.

Sirijariyawat, A.,& Charoenrein, S. (2012). Freezing characteristics and texture variation after freezing and thawing of four fruit types. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 34*(5), 517-523.

Sirijariyawat, A., & Charoenrein, S. (2014). Texture and Pectin Content of Four Frozen Fruits Treated with Calcium. *Journal of Food Processing and Preservation, 38*(3), 1346-1355.

Sirijariyawat, A., Charoenrein, S., & Barrett, D. M. (2012). Texture improvement of fresh and frozen mangoes with pectin methylesterase and calcium infusion. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*(13), 2581-2586.

Udomkun, P., Argyropoulos, D., Nagle, M., Mahayothee, B., & Mueller, J. (2015). Sorption behaviour of papayas as affected by compositional and structural alterations from osmotic pretreatment and drying. *Journal of Food Engineering, 157*, 14-23.

Verma, D., Kaushik, N., & Rao, P. S. (2014). Application of High Hydrostatic Pressure as a Pretreatment for Osmotic Dehydration of Banana Slices (*Musa cavendishii*) Finish-Dried by Dehumidified Air Drying. *Food and Bioprocess Technology, 7*(5), 1281-1297.

Vicente, A.R., Costa, M.L., Martínez, G.A., Chaves, A.R., & Civello, P.M. (2005). Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *38*, 213–222.

Wen, X., Hu, R., Zhao, J.-H., Peng, Y., & Ni, Y.-Y. (2015). Evaluation of the effects of different thawing methods on texture, colour and ascorbic acid retention of frozen hami melon (*Cucumis melo* var. saccharinus). *International Journal of Food Science and Technology, 50*(5), 1116-1122.

Wolbang, C.M., Fitos, J.L., & Treeby, M.T. (2008). The effect of high pressure processing on nutritional value and quality attributes of Cucumis melo L. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9*(2), 196-200.

Xu, B., Zhang, M., Bhandari, B., & Cheng, X. (2014). Influence of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration and Freezing on the Water State, Cell Structure, and Quality of Radish (*Raphanus sativus* L.) Cylinders. *Drying Technology, 32*(15), 1803-1811.