

ผลของกระบวนการออสโมซิสของน้ำตาลดอกมะพร้าวและโอลิโกฟรุคโตสต่อการแลกเปลี่ยนมวลสารและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับประดแวน

Effects of Coconut Flower Sugar and Oligofructose Osmotic Process on Mass Exchange and Sensory of Pineapple Rings

วิชมนี ยืนยงพุททกาล^{1*} อีรารัตน์ อธิธิโสภณกุล² ศุภิสรา แสนกกล้า¹ และสุทธิดา คุ่มทรัพย์¹
Wichamaneey Yuenyongputtakal^{1*} Teerarat Itthisoponkul² Suphisara Sankla¹ and
Sutthida Khumsub¹

Received: May 18, 2018; Revised: September 12, 2018; Accepted: September 13, 2018

บทคัดย่อ

การใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากสารให้ความหวานที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ผลิตอาหารเพื่อสุขภาพได้ งานวิจัยนี้ใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวซึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำและใช้โอลิโกฟรุคโตสซึ่งให้ความหวานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครสและมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายออสโมติกจากน้ำตาลดอกมะพร้าวและโอลิโกฟรุคโตส ในการออสโมซิสต่อการแลกเปลี่ยนมวลสารและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับประดที่หั่นแบบเต็มแวน โดยแปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าวต่อโอลิโกฟรุคโตส ได้แก่ 60:0, 45:15, 30:30, 15:45 และ 0:60 (กรัม/100 กรัม) และเปรียบเทียบกับการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว เมื่อใช้เวลาออสโมซิส 360 นาที พบว่าการใช้สารละลายผสมต่างกันทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสาร ปริมาณความชื้น และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า a_w ($p > 0.05$) การใช้สารละลายน้ำตาลดอกมะพร้าว 60 กรัม/ 100 กรัม ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR) สูงที่สุด แต่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด ($p < 0.05$) สิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวต่อโอลิโก ฟรุคโตส 15:45 กรัม/ 100 กรัม เมื่อใช้เวลาออสโมซิส 360 นาที มีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 17.69 6.82 และ 10.70 % ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.03 การใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบผสมจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการออสโมซิสผลไม้ได้

คำสำคัญ : การออสโมซิส; สับประด; น้ำตาล; การแลกเปลี่ยนมวลสาร; การยอมรับทางประสาทสัมผัส

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

¹ Faculty of Science, Burapha University, Chonburi

² คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก

² Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok

* Corresponding Author E - mail Address: wich@buu.ac.th

Abstract

Healthy sweeteners are beneficial for healthy food production. Coconut flower sugar is low in a glycemic index value. Oligofructose is prebiotic which lower in sweetness intensity than sucrose. This research aimed to study the effect of coconut flower sugar and oligofructose mixtures on mass exchange and sensory perception in osmosis process of pineapple rings. The ratio of coconut flower sugar to oligofructose was varied to 60:0, 45:15, 30:30, 15:45 and 0:60 (g/ 100 g), and compared with a sucrose solution. After osmosis of pineapple rings for 360 min., it was found that the sugar solutions showed different effects on mass exchange value, moisture content and sensory acceptance score ($p < 0.05$), but not on aw ($p \geq 0.05$). The solution of 60 g/ 100 g coconut flower sugar resulted in the highest WL and WR, but the lowest overall sensory acceptance score ($p < 0.05$). The best condition was a ratio of coconut flower sugar to oligofructose as 15:45 g/100 g. After osmosis for 360 min., the WL, SG and WR values were equal to 17.69, 6.82 and 10.70 %, respectively. The overall sensory acceptance score was 7.03. An application of osmotic solution in a mixed form is an appropriate approach to osmotic dehydration of fruit.

Keywords: Osmosis; Pineapple; Sugar; Mass Exchange; Sensory Perception

บทนำ

สับปะรดเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศ โดยเป็นสินค้าที่จัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีศักยภาพในการส่งออกอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นสับปะรดจึงเป็นสินค้าที่มีความน่าสนใจที่จะนำมาแปรรูปโดยสร้างมูลค่าให้สูงขึ้น สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเป็นสับปะรดสายพันธุ์หนึ่งที่มีการปลูกในภาคตะวันออกโดยเฉพาะจังหวัดตราด โดยสับปะรดสายพันธุ์นี้ได้รับการรับรองเป็นสินค้าเกษตรบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสินค้านั้นมีคุณภาพหรือคุณลักษณะพิเศษโดยต้องผลิตจากแหล่งผลิตเฉพาะเจาะจง มีเนื้อสีเหลืองทอง แท่ง กรอบ รสชาติหวานอมเปรี้ยว และมีกลิ่นหอม [1] ด้วยลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์นี้จึงเกิดแนวคิดนำสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมาแปรรูป โดยมุ่งเน้นให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่าของสดและใช้ส่วนผสมที่เอื้อต่อการผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดแปรรูปสับปะรดเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ โดยมีแนวคิดผลิตภัณฑ์ คือ การพัฒนาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งมูลค่าสูงพร้อมรับประทาน โดยพยายามคงลักษณะรสชาติและกลิ่นรสของสับปะรดสดให้ได้มากที่สุด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่รักสุขภาพ มีอายุการเก็บนานมากกว่าของสดและมีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา โดยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งมูลค่าสูงนี้มีหลักการที่สำคัญ คือ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งซึ่งสามารถดำเนินการได้ภายใต้หลักการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic Dehydration) ร่วมกับการอบแห้ง สำหรับการดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากผักผลไม้โดยอาศัย

ความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอกซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายที่เข้มข้นขึ้นกว่า โดยโมเลกุลของน้ำจะแพร่ผ่านเยื่อบาง ๆ ที่เรียกว่า เยื่อเลือกผ่าน (Semi Permeable Membrane) เป็นการกักตุนน้ำบางส่วนออกจากผลไม้ก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ การออสโมซิสดำเนินการโดยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างสารละลายออสโมติกกับชิ้นผลไม้และยังเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active Compound) เข้าสู่ชิ้นอาหารได้ [2] การเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลที่มีประโยชน์ต่อร่างกายแทนการใช้น้ำตาลซูโครสเป็นแนวทางหนึ่งที่จะผลิตอาหารเพื่อสุขภาพได้ ตัวอย่างเช่น การใช้น้ำตาลจากธรรมชาติพวกน้ำผึ้ง น้ำเชื่อมเมเปิล โอลิโกฟรุคโตส เป็นต้น อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงความสามารถในการกระตุ้นการแพร่ออกของน้ำในระหว่างการแลกเปลี่ยนมวลสารและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย [3]

งานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำตาลดอกมะพร้าว ซึ่งมีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ ผลิตจากน้ำหวานของช่อดอกมะพร้าว มีแร่ธาตุและวิตามินมากกว่าน้ำตาลซูโครส เช่น โพแทสเซียม เหล็ก และทองแดง ให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส นอกจากนี้น้ำตาลดอกมะพร้าวยังมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index; GI) เท่ากับ 35 ซึ่งต่ำกว่าค่า GI ของน้ำตาลซูโครส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 65 นอกจากนี้ยังเลือกใช้โอลิโกฟรุคโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีรสชาติหวานเล็กน้อย ให้พลังงานและให้ความหวานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic) ชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีประโยชน์กับจุลินทรีย์ชนิดดีในร่างกายที่ทำงานอยู่ในระบบย่อยอาหารและระบบขับถ่าย [4] โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกจากน้ำตาลดอกมะพร้าวและโอลิโกฟรุคโตสในการออสโมซิสต่อการแลกเปลี่ยนมวลสารและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับประคั่วที่หั่นแบบเต็มแผ่น

วิธีดำเนินการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างสับประคั่ว

นำสับประคั่วพันธุ์ตราคัสทอง ผลแก่เต็มที่ โดยเนื้อสับประคั่วมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 15 - 18 องศาบริกซ์ คัดเลือกผลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (น้ำหนักผลประมาณ 1,200 - 1,400 กรัม) ไม่มีตำหนิและรอยช้ำ นำสับประคั่วมาปอกเปลือกและหั่นเนื้อสับประคั่วแบบเต็มแผ่นหรือวงแหวน ควบคุมชิ้นสับประคั่วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 เซนติเมตร และหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร โดยเจาะแกนออกเป็นรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร นำชิ้นสับประคั่วมาแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 % เป็นเวลา 10 นาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

2. การเตรียมสารละลายออสโมติก

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลดอกมะพร้าวและโอลิโกฟรุคโตส แทนการใช้ซูโครส จึงเตรียมสารละลายออสโมติกโดยแปรสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลดอกมะพร้าว (ตรา Cobie brown, ประเทศไทย) ต่อโอลิโกฟรุคโตส (P95, Beneo ORAFIT[®], ประเทศเบลเยียม) เป็น 5 ระดับ ได้แก่ 60:0, 45:15, 30:30, 15:45 และ 0:60 (กรัม/ 100 กรัม) และเปรียบเทียบกับ การใช้ซูโครส (ตรามิตรผล, ประเทศไทย) เพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุม) รวมเป็น 6 สิ่งทดลอง

โดยควบคุมความเข้มข้นของทุกสิ่งทดลองเท่ากับ 60 กรัม/ 100 กรัม ดำเนินการโดยใช้น้ำตาลตามปริมาณที่กำหนด ผสมน้ำแล้วคนให้น้ำตาลละลาย นำสารละลายไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 - 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที เพื่อฆ่าเชื้อในสารละลาย โดยใช้เตาให้ความร้อน (Hot Plate) ตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้งาน

3. การออสโมซิสและการวิเคราะห์คุณภาพ

นำชิ้นสับประดที่เตรียมไว้มาใส่ในตะกร้าสแตนเลสแบบโปร่ง รูปทรงกระบอกแบบมีฝาปิด ซึ่งมีขนาดรูตะแกรง 2 x 2 เซนติเมตร แล้วนำมาแช่ให้จมน้ำในสารละลายออสโมติกที่บรรจุในโหลแก้ว ปิดด้วยลูนีเนียมฟอยด์ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นสับประดเท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) แช่เป็นเวลา 360 นาที ที่อุณหภูมิห้อง [5] สุ่มตัวอย่างทุก 60 นาที นำตัวอย่างมาชั่งให้แห้งด้วยกระดาษชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น [6] แล้วคำนวณค่าการแลกเปลี่ยนมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction; WR) เพื่ออธิบายการแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิส โดยคำนวณจากสมการที่ (1) - (3) [7]

$$WL(\%) = \frac{(W_0 M_0 - W_t M_t)}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

$$SG(\%) = \frac{[W_t - (1 - M_t) - W_0(1 - M_0)]}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

$$WR(\%) = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

W_0 = น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น (กรัม)

W_t = น้ำหนักตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กรัม)

M_0 = ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น (กรัมน้ำ/ 100 กรัมตัวอย่าง)

M_t = ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กรัมน้ำ/ 100 กรัมตัวอย่าง)

นอกจากนี้สุ่มตัวอย่างสับประดหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที มาวิเคราะห์ค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w (Novasina, รุ่น AG LabMASTER- a_w) รวมทั้งประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยการประเมินความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน สำหรับการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม มีเกณฑ์การพิจารณา คือ เลือกสิ่งทดลอง (ใช้น้ำตาลคอกมมะพร้าวและ/หรือน้ำตาลโตนด) ที่ทำให้มีค่า WL และค่า WR สูง มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำ รวมถึงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนน

ผลการทดลองและวิจารณ์

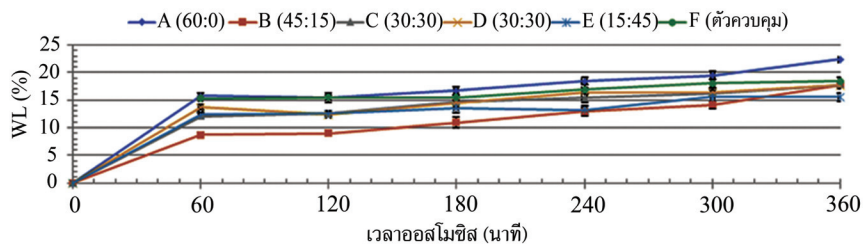
1. ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารของสับประค่วนระหว่างการออสโมซิส ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรวมที่ลดลง (WR) แสดงผลดังรูปที่ 1 - 3 พบว่าเมื่อใช้เวลาการออสโมซิสเพิ่มขึ้นมีผลให้แนวโน้มค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารทุกค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและความเข้มข้นภายในขึ้นสับประค่วนมีความแตกต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ผลไม้กับสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงขับทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างภายในเซลล์ของขึ้นสับประค่วนและสารละลายภายนอกจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยจะเกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารในทิศทางสวนทางกันเป็น 2 ทิศทางหลัก ทิศทางแรกคือ น้ำภายในเซลล์ของผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติก และทิศทางที่สอง คือ ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ [8] จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงเวลา 60 นาทีแรกเกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารอย่างมาก ทำให้ทุกสิ่งทดลองมีค่า WL SG และ WR อยู่ในช่วงประมาณ 8 - 15, 5 - 10 และ 3 - 5 % ตามลำดับ สอดคล้องกับที่มีการรายงานว่าการออสโมซิสผลบลูเบอร์รี่โดยการแช่ในสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณน้ำที่สูญเสียและของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดในการออสโมซิสช่วง 60 นาทีแรก โดยมีค่า WL ประมาณ 6.5 % และมีค่า SG ประมาณ 5.5 % และพบว่ามีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาการออสโมซิสนานขึ้น [9] ทั้งนี้เนื่องมาจากการในระยะแรกของการออสโมซิสมีความแตกต่างของแรงดันออสโมติกมากจึงมีแรงขับให้เกิดการแพร่มวลน้ำและของแข็งมากและรวดเร็ว เมื่อเวลาออสโมซิสนานขึ้นความแตกต่างของแรงดันออสโมติกมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากมีการแพร่ของมวลน้ำออกจากตัวอย่างมากขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีการแพร่ของของแข็งเข้าสู่ตัวอย่างมากขึ้นเช่นกัน จึงเป็นผลให้การแลกเปลี่ยนมวลสารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยกว่าช่วงแรกของการออสโมซิสและมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาออสโมซิสนานขึ้น

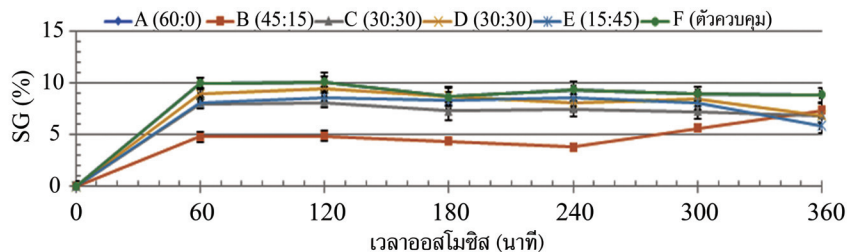
2. ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารและคุณภาพของขึ้นสับประค่วนหลังการออสโมซิส

2.1 ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสาร

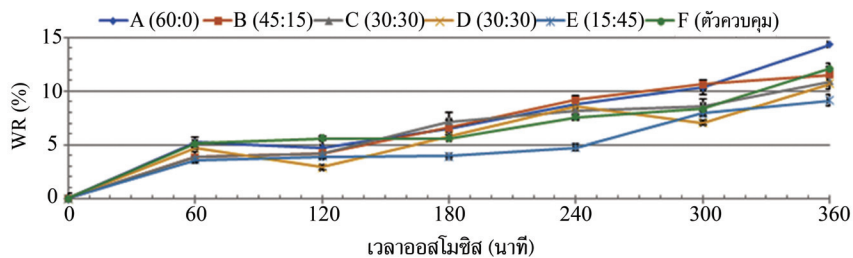
ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสาร ได้แก่ ค่า WL SG และ WR ของขึ้นสับประค่วนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและโอลิโกฟรุคโตสแตกต่างกันมีผลทำให้ขึ้นสับประค่วนมีค่า WL SG และ WR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากตารางที่ 1 หากพิจารณาเฉพาะสิ่งทดลองที่ใช้ น้ำตาลเพียงชนิดเดียว (สิ่งทดลองที่ 1 5 และ 6) พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว 60 กรัม/ 100 กรัม มีค่า WL และ WR สูงที่สุด เท่ากับ 22.43 และ 14.34 % และมีค่า SG สูงเท่ากับ 8.08 % รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว 60 กรัม/ 100 กรัม มีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 18.44 8.83 และ 12.11 % ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้โอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว 60 กรัม/100กรัม มีแนวโน้มค่า WL SG และ WR ต่ำที่สุดเท่ากับ 15.55 5.86 และ 9.14 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลดอกมะพร้าวช่วยกระตุ้นให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารได้มากที่สุด รองลงมาคือ การใช้ซูโครส และโอลิโกฟรุคโตส



รูปที่ 1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ระหว่างการออสโมซิสสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (A-E) และซูโครส (F)



รูปที่ 2 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ระหว่างการออสโมซิสสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (A-E) และซูโครส (F)



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ระหว่างการออสโมซิสสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (A-E) และซูโครส (F)

ชนิดของสารละลายออสโมติกที่ต่างกันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนมวลสารในระหว่างการออสโมซิส โดยสาเหตุหนึ่งที่มีความสำคัญคือ น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) ของน้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลายออสโมติก หากใช้น้ำตาลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารมากกว่าน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยในระหว่างการออสโมซิสน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถแพร่เข้าสู่เซลล์ของผักผลไม้ได้ง่ายกว่าน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลสูง ส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงกว่า จึงมีโอกากระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลของแข็งและมวลน้ำได้มากกว่า นอกจากนี้มีรายงานว่าองค์ประกอบของน้ำตาลที่ใช้และโครงสร้างของน้ำตาลมีผลต่อพฤติกรรมของการเป็นสารออสโมติก (Osmotic Behavior) และอัตราการแพร่ (Rate of Diffusion) ในระหว่างการแลกเปลี่ยนมวลสารด้วย [3], [8] จากผลการทดลองพบว่า น้ำหนักโมเลกุลของน้ำตาลที่ใช้ในสารละลายออสโมติกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าการแลกเปลี่ยน

มวลสาร กล่าวคือ โอลิโกฟรุคโตส มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 342 - 1,638 กรัม/ โมล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าระดับความเป็นโพลิเมอร์ (Degree of Polymerization, DP) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โอลิโกฟรุคโตส ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 700 กรัม/ โมล ซึ่งน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จัดเป็นอนุพันธ์ของสารอินูลินที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยฟรุคโตสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -2, 1 glycosidic เป็นฟรุคแทนที่มีค่า DP ตั้งแต่ 3 - 10 โดยมีหน่วยโมเลกุลของกลูโคสมาต่อท้าย ส่วนน้ำตาลดอกมะพร้าวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซูโครส (มีน้ำหนักโมเลกุล 342.30 กรัม/โมล) กลูโคส (มีน้ำหนักโมเลกุล 180.16 กรัม/โมล) และฟรุคโตส (มีน้ำหนักโมเลกุล 180.16 กรัม/โมล) [10] จึงกล่าวได้ว่า โอลิโกฟรุคโตสมีองค์ประกอบของน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุด รองลงมาคือ ซูโครส และน้ำตาลดอกมะพร้าว จึงส่งผลให้พบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว มีค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารสูงที่สุด รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งมีการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว และสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งมีการใช้โอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว ($p < 0.05$)

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรีดลดลง (WR) ของชิ้นสับประคั่วที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (สิ่งทดลองที่ 1 - 5) และซูโครส (สิ่งทดลองที่ 6)

สิ่งทดลอง	ปริมาณที่ใช้ในสารละลายออสโมติก 100 กรัม			ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารหลังออสโมซิส (%)		
	น้ำตาลดอกมะพร้าว	โอลิโกฟรุคโตส	ซูโครส	WL	SG	WR
1	60	0	0	22.43 ^a $\pm$ 0.44	8.08 ^{ab} $\pm$ 0.16	14.34 ^a $\pm$ 0.61
2	45	15	0	17.73 ^b $\pm$ 0.87	7.33 ^{abc} $\pm$ 0.10	11.54 ^b $\pm$ 0.71
3	30	30	0	17.72 ^b $\pm$ 0.95	6.88 ^{bc} $\pm$ 0.60	10.88 ^b $\pm$ 0.66
4	15	45	0	17.69 ^b $\pm$ 0.43	6.82 ^{bc} $\pm$ 0.84	10.70 ^b $\pm$ 0.28
5	0	60	0	15.55 ^c $\pm$ 0.77	5.86 ^c $\pm$ 1.11	9.14 ^c $\pm$ 0.42
6	0	0	60	18.44 ^b $\pm$ 0.64	8.83 ^a $\pm$ 0.23	12.11 ^b $\pm$ 0.35

a, b, c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า WL และค่า WR พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด จึงส่งผลให้มีค่า WL เท่ากับ 22.43 % และค่า WR เท่ากับ 14.34 % ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว มีค่า WL เท่ากับ 18.44 % และค่า WR เท่ากับ 12.11 % และสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว มีค่า WL เท่ากับ 15.55 % และค่า WR เท่ากับ 9.14 % ตามลำดับ โดยเรียงลำดับตามน้ำหนักโมเลกุลจากต่ำไปสูง เมื่อพิจารณาค่า SG พบแนวโน้มว่า สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว มีค่า SG สูงที่สุดเท่ากับ 8.83 % ซึ่งสูงกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวที่มีค่า SG เท่ากับ 8.08 % ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำตาลดอกมะพร้าวที่ใช้เป็นน้ำตาลจากธรรมชาติที่ไม่ได้มีเพียงองค์ประกอบของน้ำตาล

เพียงอย่างเดียว ยังมีแร่ธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบด้วย เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้อาจขัดขวางการแพร่เข้าของน้ำตาลได้ ตัวอย่างเช่น แคลเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกตินบริเวณชั้นมิลเดิลลามেলাของผนังเซลล์พืช เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตตที่ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้เกิดชั้นกีดขวางซึ่งมีโอกาสไปขัดขวางการแพร่ของตัวถูกละลายในสารละลายที่เข้าไปในเซลล์เนื้อเยื่อของผลไม้ [11] จึงอาจมีผลทำให้สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว มีค่า SG ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวที่เป็นน้ำตาลที่ค่อนข้างมีความบริสุทธิ์มาก

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนมวลสารในระหว่างการออสโมซิส โดยพบแนวโน้มว่าการใช้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ได้มากกว่าจึงส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงกว่าและทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารได้มากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่าการใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลโพลิโกฟรุคโตส มีผลให้ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารของแอปเปิ้ลแตกต่างกัน เนื่องจากน้ำตาลที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างที่แตกต่างกันจึง มีผลให้พฤติกรรมของการแพร่ของน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ผลไม้มีความแตกต่างกันด้วย โดยพบว่าการใช้น้ำตาลซูโครสทำให้ขึ้นแอปเปิ้ลมีค่า WL และค่า SG สูงกว่าการใช้น้ำตาลโพลิโกฟรุคโตสที่สภาวะการออสโมซิสและความเข้มข้นเดียวกัน โดยน้ำตาลซูโครสมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าน้ำตาลโพลิโกฟรุคโตส จึงสามารถแพร่ผ่านเข้าไปยังเนื้อเยื่อขึ้นแอปเปิ้ลได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงกว่า และทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารได้มากกว่า [12] และสอดคล้องกับการออสโมซิสส้มสายน้ำผึ้งโดยใช้สารละลายออสโมติกเป็นส่วนผสมของซูโครส 60 % และกลีเซอรอล 60 % (ที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 w/w ตามลำดับ) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น (ที่อัตราส่วนเท่ากับ 5:5 w/w) ทำให้มีค่า WL และ SG สูงที่สุด เนื่องจากการใช้กลีเซอรอลมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้กลีเซอรอลซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าซูโครสส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารได้มากขึ้น [13]

จากตารางที่ 1 พบว่า สิ่งทดลองที่มีการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและโพลิโกฟรุคโตสในสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 มีแนวโน้มทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสาร ได้แก่ ค่า WL SG และ WR มากกว่าการใช้โพลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว แต่มีค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารต่ำกว่าการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว ($p < 0.05$) โดยการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวผสมร่วมกับโพลิโกฟรุคโตส ในสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 มีผลต่อค่า WL SG และ WR ในแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือ การใช้ปริมาณโพลิโกฟรุคโตส 15 30 และ 45 กรัม/ 100 กรัม ผสมกับน้ำตาลดอกมะพร้าวในปริมาณ 45 30 และ 15 กรัม/ 100 กรัม ตามลำดับ ในสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 มีผลทำให้ค่า WL ของขึ้นสับประรดมีค่าเท่ากับ 17.73 17.72 และ 17.69 % ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ค่า SG ของขึ้นสับประรดมีค่าเท่ากับ 7.33 6.88 และ 6.82 % ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และค่า WR ของขึ้นสับประรดมีค่าเท่ากับ 11.54 10.88 และ 10.70 % ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เช่นกัน โดยแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าว (ปริมาณ 45 30 และ 15 กรัม/ 100 กรัม) ผสมกับโพลิโกฟรุคโตส (15 30 และ 45 กรัม/ 100 กรัม) ทำให้ช่วยเพิ่มค่า WL (17.69 - 17.73 %) ค่า SG (6.82 - 7.33 %) และค่า WR (10.70 - 11.54 %) ให้มากกว่าการใช้โพลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว ที่มีค่า WL ค่า SG และค่า WR เท่ากับ 15.55 5.86 และ 12.11 % ตามลำดับ

2.2 ปริมาณความชื้นและค่า a_w

ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของขึ้นสับประดานที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและโอลิโกฟรุคโตสแตกต่างกันมีผลทำให้ขึ้นสับประดานมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสแตกต่างกันพบว่า สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส มีผลต่อปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด (72.86 %) แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 6 ที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียวที่มีปริมาณความชื้น 73.45 % ($p \geq 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียวมีค่าปริมาณความชื้นสูงที่สุด (75.80 %) แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 ที่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 74.78 - 74.91 % ($p \geq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่า WL ซึ่งค่า WL หมายถึง ปริมาณน้ำที่สูญเสีย นั่นคือ เมื่อค่า WL เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ขึ้นสับประดานมีปริมาณความชื้นลดลง เกิดจากกลไกการถ่ายเทมวลน้ำของขึ้นสับประดานกับสารละลายออสโมติกในกระบวนการออสโมซิส เมื่อขึ้นสับประดานเกิดการแพร่ออกของน้ำที่อยู่ภายในขึ้นสับประดานได้มากย่อมมีแนวโน้มให้ขึ้นสับประดานมีปริมาณความชื้นลดลงนั่นเอง โดยพบว่าขึ้นสับประดานที่ผ่านการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าขึ้นสับประดานที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (สับประดานสดปริมาณความชื้นเริ่มต้น 84.84 %) แสดงให้เห็นว่าการใช้กระบวนการออสโมซิสในงานวิจัยนี้สามารถลดปริมาณความชื้นในขึ้นสับประดานได้ประมาณ 10.66 - 14.12 %

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของขึ้นสับประดานที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (สิ่งทดลองที่ 1 - 5) และซูโครส (สิ่งทดลองที่ 6)

สิ่งทดลอง	ปริมาณที่ใช้ในสารละลายออสโมติก 100 กรัม	ค่าการแลกเปลี่ยนมวลสารหลังออสโมซิส (%)			
	น้ำตาลดอกมะพร้าว	โอลิโกฟรุคโตส	ซูโครส	ความชื้น (%)	a_w^{ns}
1	60	0	0	72.86 ^c ± 0.42	0.980 ± 0.004
2	45	15	0	74.78 ^{ab} ± 0.90	0.985 ± 0.007
3	30	30	0	74.90 ^{ab} ± 0.52	0.986 ± 0.004
4	15	45	0	74.91 ^{ab} ± 0.05	0.986 ± 0.008
5	0	60	0	75.80 ^a ± 0.85	0.988 ± 0.002
6	0	0	60	73.45 ^{bc} ± 0.71	0.984 ± 0.005

a, b, c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า a_w พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.980 - 0.988 แต่พบว่าขึ้นสับประตที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w ต่ำกว่า ขึ้นสับประตที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (0.994) ในระหว่างการออสโมซิสจะเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนมวลสารที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) ในขึ้นสับประต กล่าวคือ น้ำภายในเซลล์ของผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกจึงมีโอกาสน้ำอิสระในขึ้นสับประตลดลงได้ นอกจากนี้ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติก ซึ่งได้แก่ น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่ใช้จะแพร่เข้าสู่เซลล์ของขึ้นสับประตได้ โมเลกุลของน้ำตาลที่เข้าไปในเซลล์นี้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำอิสระ จึงมีโอกาสน้ำอิสระที่อยู่ในขึ้นสับประตเปลี่ยนเป็นน้ำที่มีพันธะ (Bound Water) จึงไม่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [11] เป็นผลให้ขึ้นสับประตมีปริมาณน้ำอิสระในเซลล์ลดลง นั่นคือค่า a_w ต่ำลงนั่นเอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้กระบวนการออสโมซิสสามารถลดค่า a_w ในขึ้นสับประตได้ประมาณ 0.014 - 0.006 สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่าการออสโมซิสผลโกจิเบอร์รี่ โดยแช่ผลโกจิเบอร์รี่ในสารละลายออสโมติกที่เวลา 60 และ 180 นาที และที่อุณหภูมิ 45 55 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่าผลโกจิเบอร์รี่ที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.788 - 0.917 ซึ่งต่ำกว่าผลโกจิเบอร์รี่ที่ยังไม่ผ่านการออสโมซิส (0.937) ซึ่งสามารถลดค่า a_w ได้ประมาณ 0.020 - 0.149 [14] แสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสสามารถลดค่า a_w ของผลไม้สดลงได้

2.3 ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 3 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของขึ้นสับประตที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและโพลิฟรุกโตสแตกต่างกันพบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของทุกสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏพบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด (7.30 คะแนน) อยู่ในระดับชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสีพบว่า สิ่งทดลองที่ 4 และ 5 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด (7.03 คะแนน) อยู่ในระดับชอบปานกลาง จากการทดลองสังเกตพบว่าสารละลายออสโมติกที่ใช้มีสีไม่เหมือนกัน โดยสารละลายน้ำตาลดอกมะพร้าวมีสีน้ำตาล ในขณะที่สารละลายซูโครสและโพลิฟรุกโตสมีลักษณะเป็นน้ำเชื่อมค่อนข้างใส ดังนั้นเมื่อนำน้ำตาลดอกมะพร้าวในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้นทำให้สารละลายออสโมติกมีสีออกน้ำตาลเข้มขึ้น การแช่ขึ้นสับประตในสารละลายออสโมติกเป็นเวลาถึง 360 นาที จึงมีโอกาสน้ำขึ้นสับประตมีลักษณะสีน้ำตาลหรือมีสีคล้ำขึ้นด้วย ลักษณะของขึ้นสับประตที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวทำให้ขึ้นสับประตมีสีออกน้ำตาลหรือมีสีคล้ำขึ้นมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ซึ่งอาจมีผลให้ผู้ทดสอบชอบสีและลักษณะปรากฏน้อยที่สุด จึงได้รับคะแนนความชอบด้านสีและลักษณะปรากฏต่ำที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 ที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวลดลงหรือไม่ใช้เลย สีของขึ้นสับประตหลังการออสโมซิสจึงมีความใกล้เคียงกับสับประตสดมากกว่า ผู้ทดสอบจึงมีแนวโน้มให้คะแนนความชอบมากกว่าตัวอย่างอื่น (7.03 7.03 และ 7.00 คะแนน ตามลำดับ) การที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากน้ำตาลที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติกมีกลิ่นที่แตกต่างกัน โดยน้ำตาลดอกมะพร้าวมีกลิ่นหอมหวานของน้ำตาลค่อนข้างเข้ม ในขณะที่โพลิฟรุกโตสมีกลิ่นหอมหวานอ่อน ๆ และน้ำตาลซูโครสไม่มีกลิ่นเลย พบข้อสังเกตว่าการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวในสิ่งทดลองที่ 1 สับประต

หลังการอบสโมซิสมีกลิ่นหอมของน้ำตาลดอกมะพร้าวเข้มข้นกว่ากลิ่นสับประค่วน การใช้โอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียวในสิ่งทดลองที่ 5 และการใช้ซูโครสอย่างเดียวในสิ่งทดลองที่ 6 สับประค่วนหลังการอบสโมซิสยังคงมีกลิ่นหอมของสับประค่วน ซึ่งกล่าวได้ว่าให้กลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ของน้ำตาลดอกมะพร้าวหรือกลิ่นสับประค่วนอย่างชัดเจน ผู้ทดสอบมีความคุ้นเคยกับกลิ่นและเป็นกลิ่นที่พึงประสงค์ จึงให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นสำหรับสิ่งทดลองที่ 1 5 และ 6 มากกว่าสิ่งทดลองอื่น (6.23 6.83 และ 6.77 คะแนน ตามลำดับ) แต่เมื่อใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวผสมกับโอลิโกฟรุคโตสในสัดส่วนน้ำตาลดอกมะพร้าว 45 และ 30 กรัม/100 กรัม ในสิ่งทดลองที่ 2 และ 3 พบว่าสับประค่วนหลังการอบสโมซิสมีกลิ่นผสมกันระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวกับสับประค่วน กล่าวคือ เกิดเป็นกลิ่นใหม่ที่ไม่เหมือนกับกลิ่นน้ำตาลดอกมะพร้าวหรือกลิ่นสับประค่วนอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้ทดสอบไม่คุ้นเคย ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบกลิ่นในสิ่งทดลองที่ 2 และ 3 น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น และในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 เป็นสิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวต่ำที่สุด มีความเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นของกลิ่นน้ำตาลดอกมะพร้าวไปรบกวนกลิ่นของสับประค่วนน้อย จึงไม่เกิดเป็นกลิ่นใหม่ที่ผู้ทดสอบไม่คุ้นเคย ทำให้ได้รับคะแนนความชอบสูง (6.17 คะแนน) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย และโดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนความชอบกลิ่นสูงที่สุด (6.83 คะแนน) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง การที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติแตกต่างกันอาจเนื่องมาจากน้ำตาลที่ใช้ในการเตรียมสารละลายอบสโมติคมีระดับความหวานที่แตกต่างกัน ระดับความหวานของสารละลายอบสโมติคที่ใช้เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้คือ โอลิโกฟรุคโตส น้ำตาลดอกมะพร้าว และซูโครส ตามลำดับ โดยโอลิโกฟรุคโตส และน้ำตาลดอกมะพร้าวมีระดับความหวานเท่ากับ 40 % และ 90 % ของน้ำตาลซูโครส [15] รวมทั้งลักษณะของรสหวานของน้ำตาลมีความแตกต่างกันด้วย กล่าวคือ น้ำตาลมะพร้าวมีกลิ่นรสหอมหวานของดอกมะพร้าวในขณะที่ซูโครสและโอลิโกฟรุคโตสไม่มีกลิ่นรสเฉพาะอื่น

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับประค่วนที่ผ่านการอบสโมซิสเป็นเวลา 360 นาทีเมื่อใช้สารละลายอบสโมติคที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (สิ่งทดลองที่ 1 - 5) และซูโครส (สิ่งทดลองที่ 6)

สิ่งทดลอง	ปริมาณที่ใช้ในสารละลายอบสโมติค 100 กรัม			คะแนนความชอบเฉลี่ย				
	น้ำตาลดอกมะพร้าว	โอลิโกฟรุคโตส	ซูโครส	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1	60	0	0	6.00 ^c ± 1.60	6.00 ^b ± 1.64	6.23 ^{ab} ± 1.53	5.83 ^b ± 1.86	6.10 ^b ± 1.71
2	45	15	0	6.23 ^{bc} ± 1.45	6.17 ^{ab} ± 1.64	5.87 ^b ± 1.46	5.77 ^b ± 1.91	6.17 ^b ± 1.60
3	30	30	0	6.03 ^c ± 1.52	6.17 ^{ab} ± 1.66	5.87 ^b ± 1.38	5.83 ^b ± 1.88	6.10 ^b ± 1.56
4	15	45	0	7.00 ^{ab} ± 1.41	7.03 ^a ± 1.13	6.17 ^{ab} ± 1.17	6.87 ^a ± 0.94	7.03 ^a ± 0.93
5	0	60	0	7.30 ^a ± 1.37	7.03 ^a ± 1.43	6.83 ^a ± 1.56	7.57 ^a ± 1.45	7.67 ^a ± 1.42
6	0	0	60	6.93 ^{ab} ± 1.34	7.00 ^a ± 1.23	6.77 ^a ± 1.45	7.77 ^a ± 0.97	7.87 ^a ± 1.01

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านรสชาติ พบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ 1 2 และ 3 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวค่อนข้างมากเท่ากับ 60 45 และ 30 กรัม/ 100 กรัม ตามลำดับ ได้รับคะแนนความชอบรสนาน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องมาจากการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวปริมาณมาก มีโอกาสทำให้สัมผัสประดามีรสหวานมากและมีกลิ่นรสนองน้ำตาลมะพร้าวมากขึ้นด้วย ซึ่งผู้ทดสอบอาจคุ้นเคยกับรสนาน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น นอกจากนี้พบข้อสังเกตว่าสิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวค่อนข้างมากมีการแลกเปลี่ยนมวลสารสูง โดยพบว่ามีความ SG เท่ากับ 7.33 และ 8.08 % ซึ่งอยู่ในระดับสูงที่สุด (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่ามีโอกาสเกิดการแพร่เข้าของของแข็ง (น้ำตาล) จากสารละลายออสโมติกเข้าสู่ชิ้นสับประดามากที่สุด จึงมีโอกาสทำให้ชิ้นสับประดามีรสหวานมาก เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมพบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับคะแนนความชอบรสชาติ กล่าวคือ สิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.03 - 7.87) อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยลักษณะของชิ้นสับประดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที ทั้ง 6 สิ่งทดลองแสดงดังรูปที่ 4



(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (60:0)



(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (45:15)



(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (30:30)



(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (15:45)

รูปที่ 4 ลักษณะของชิ้นสับประดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที ทั้ง 6 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (สิ่งทดลองที่ 1 - 5) และ ซูโครส (สิ่งทดลองที่ 6)



(จ) สิ่งทดลองที่ 5 (0:60)



(ฉ) สิ่งทดลองที่ 6 (ตัวควบคุม)

รูปที่ 4 ลักษณะของชิ้นสับประคั่ววนผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที ทั้ง 6 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : โอลิโกฟรุคโตส (สิ่งทดลองที่ 1 - 5) และซูโครส (สิ่งทดลองที่ 6) (ต่อ)

3. การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและโอลิโกฟรุคโตสในอัตราส่วน 15:45 (กรัม/ 100 กรัม) มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่า WL และค่า WR สูง (17.69 และ 10.70 % ตามลำดับ) มีปริมาณความชื้นและค่า a_w เท่ากับ 74.91 และ 0.986 % ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง (7.03 คะแนน) ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า แม้สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวมีค่า WL และค่า WR สูงที่สุด (22.43 และ 14.34 %) แต่เมื่อพิจารณาความชอบทางประสาทสัมผัสร่วมด้วยพบว่า ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 6.10 คะแนน ซึ่งน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 4

สรุป

การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวต่อโอลิโกฟรุคโตสในสัดส่วนที่เหมาะสม เป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างการออสโมซิสไม่แตกต่างกับการใช้น้ำตาลซูโครส รวมทั้งได้สับประคั่วหลังการออสโมซิสที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับได้

References

- [1] Department of Intellectual Property. (2017). **Geographical Indication Announcement: Trat Si Thong Pineapple**. Access (28 December 2017). Available (<http://www.ipthailand.go.th/images/2284/GI60100094.pdf>) (in Thai)
- [2] Jacob, J. K. and Palliyath, G. (2012). Infusion of Fruits with Nutraceuticals and Health Regulatory Components for Enhanced Functionality. **Food Research International**. Vol. 45, Issue 1, pp. 93-102. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.10.017

- [3] Ahmed, I., Qazi, I. M., and Jamal, S. (2016). Developments in Osmotic Dehydration Technique for the Preservation of Fruits and Vegetables. **Innovative Food Science and Emerging Technologies (INNOV FOOD SCI EMERG)**. Vol. 34, pp. 29-43. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.01.003
- [4] Secretaria, M. I. (2003). **Comparison of The Elemental Content of 3 Sources of Edible Sugar-Analyzed**. Access (29 December 2017). Available (<https://realrawfood.com/coconut-nectar-and-sugar>)
- [5] Silva, K. S., Fernandes, M. A., and Mauro, M. A. (2014). Effect of Calcium on the Osmotic Dehydration Kinetics and Quality of Pineapple. **Journal of Food Engineering**. Vol. 134, pp. 37-44. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.02.020
- [6] Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (1990). **Official Method of Analysis**. 15theds. Virginia: The Association of official Analysis Chemists. 972.20, Vol.2, Chapter 37, pp. 3-4
- [7] Correa, J. L. G., Pereira, L. M., Vieira, G. V., and Hubinger, M. D. (2010). Mass Transfer Kinetics of Pulse Vacuum Osmotic Dehydration of Guavas. **Journal of Food Engineering**. Vol. 96, Issue 4, pp. 498-504. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.08.032
- [8] Naknean, P. (2012). Factors Affecting Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits. **International Food Research Journal**. Vol. 19, pp. 7-18
- [9] Alfaro, L., Siramard, S., Chouljenko, A., and Sathivel, S. (2018). Effect of Liquid Nitrogen Pretreatment on the Osmotic Dehydration and Quality of Cryogenically Frozen Blueberries (*Vaccinium angustifolium* Ait.). **Food Bioscience**. Vol. 22, pp. 165-169. DOI: 10.1016/j.fbio.2018.02.006
- [10] Sinngam, A. (2012). **Study on Prebiotic Properties of Fructo-oligosaccharide from Jerusalem Artichoke Extract**. MSc. Biotechnology, Graduate School, Silpakorn University (in Thai)
- [11] Nithiya, R. (2010). **Food Chemistry**. Bangkok: O-dean Store (in Thai)
- [12] Matussek, A., Czukur, K., and Meresz, P. (2008). Comparison of Sucrose and Fructo-oligosaccharides as Osmotic Agent in Apple. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. Vol. 9, No. 3, pp. 365-373. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.10.003
- [13] Pattanapa, K., Therdthai, N., Chantrapornchai, W., and Zhou, W. (2010). Effect of Sucrose and Glycerol Mixtures in the Osmotic Solution on Characteristics of Osmotically Dehydrated Mandarin cv. (*Sai-Namphaung*). **International Journal of Food Science and Technology**. Vol. 45, No. 9, pp. 1918-1924. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2010.02353.x
- [14] Dermesolouoglou, E., Chalkia, A., and Taoukis, P. (2018). Application of Osmotic Dehydration to Improve the Quality of Dried Goji Berry. **Journal of Food Engineering**. Vol. 232, pp. 36-43. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.012
- [15] Nutrients Review. (2016). **Sweeteners**. Access (6 April 2018). Available (<http://www.nutrientsreview.com/articles/sweeteners.html>)