Research Article

Received: April 16, 2020; Accepted: June 24, 2020

ผลของการดึงน้ำออกบางส่วนโดยวิธีออสโมซิส ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล่อนกึ่งแห้ง

Effect of Osmotic Dehydration on Qualities of Intermediate Moisture Melon Product

สุนัน ปานสาคร*, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์,
ศุภณัฐ พริกบุญจันทร์ และอาทิพัฒน์ ศรีชุมพล
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Sunan Parnsakhorn*, Jaturong Langkapin,
Supanut Phriknunchan and Artipat Srichumpol
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Khlong Hok, Thanyaburi, Pathum Thani 12110

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการดึงน้ำออกบางส่วนด้วยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล่อนกึ่งแห้ง โดยนำเมล่อน (*Cucumismelo* var. *indorus*) พันธุ์กรีนเน็ต (รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 2x2x2 cm) แช่ในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 50 °Brix นาน 5 ชั่วโมง และอบแห้งที่ 60, 70 และ 80 °C ซึ่งเมล่อนมีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 78.4 %wb และอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายลดลงที่ประมาณ 20 %wb ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเมล่อนสดจนกระทั้งเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความชื้นใช้เวลา 480, 420 และ 390 นาที ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัส ซึ่งพบว่าอัตราการลดลงของความชื้นในการอบแห้งมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นกับเวลาอบแห้ง และที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง (80 °C) ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด 5.577 kg/hr และลดลง 4.115 kg/hr และ 4.359 kg/hr ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C ตามลำดับ ผลการทดลองยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลทำให้ความสว่าง (L*) ความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของเมล่อนแช่อิ่มอบแห้งลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมแก่เมล่อนแช่อิ่มอบแห้งที่แช่ในสารละลายกลูโคสเข้มข้น 50 °Brix ร่วมกับการอบแห้งที่ 70 °C สูงที่สุด

คำสำคัญ : เมล่อน; ออสโมซิส; การอบแห้ง; กลูโคส

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** sunan.p@en.rmutt.ac.th

Abstract

This research was experimental work to study the effect of osmotic dehydration on the qualities of intermediate moisture melon products. Melon (*Cucumismelo* var. *Indorus*) greennet varieties cubes (2 x 2 x 2 cm) were soaked in glucose concentration at 50 °Brix for 5 hr and then drying at 60, 70, and 80 °C. The initial moisture content was approximately 88 %wb and dried until its moisture content decreased to approximately 20 %wb. The drying times to reach the equilibrium moisture content for the fresh melon were 480, 420, and 390 min at 60, 70 and, 80 °C, respectively. Physicochemical property and sensory qualities were investigated. It was found that the decrease of moisture in drying time was not a linear correlation with drying time. At high drying temperatures (80 °C), the maximum drying rate was 5.588 kg/hr and decreased to 4.115 kg/hr and 4.359 kg/hr at 60 and 70 °C, respectively. The result revealed that lightness (L*), moisture content, and water activity (a_w) of dried osmotic dehydrated melon decreased. In contrast, a*, b*, ΔE* and total soluble solid increased with an increase in drying temperature. The highest overall liking score was obtained in dried osmotic dehydrated melon, which was soaked in 50 °Brix of glucose combined with dried at 70 °C.

Keywords: melon; osmosis; drying; glucose

1. บทนำ

การดึงน้ำออกบางส่วนโดยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) หรือวิธีการแช่อิ่ม เป็นการแปรรูปอาหารชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กับผักและผลไม้ โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณน้ำภายในผักผลไม้เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ทั้งนี้วิธีออสโมซิสสามารถกำจัดน้ำออกจากผักผลไม้โดยการนำไปแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง หรือมีค่าวอเตอรแอคติวิตี้ (water activity, a_w) ต่ำกว่าผักผลไม้นั้น สารละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำตาล (กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส) หรือเกลือมาใช้เตรียมเป็นสารละลายออสโมซิส เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ มีความสามารถในการละลายสูง ราคาถูก มีประสิทธิภาพที่ดีในการดึงน้ำออกจากชิ้นผักผลไม้ และช่วยปรับปรุงรสชาติหลังการออสโมซิส [1,2] ความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อปริมาณการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซีส และยังส่งผลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในผลิตภัณฑ์ โดยความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิสที่ใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงร้อยละ 30 ถึง 70 ต่างกันตามชนิดผลไม้ [3] แต่การออสโมซิสผลไม้ไม่ควรใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 70 โดยมวลต่อปริมาตร เนื่องจากสารละลายจะมีความหนืดสูงเกินไป ทำให้การถ่ายเทมวลสารลดลง [4] นอกจากนี้ยังมีการนำกระบวนการออสโมซิสมาใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้เพื่อสุขภาพในอีกหลายรูปแบบ ได้แก่ ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในการออสโมซิสมะเขือเทศ [5] การเติมแร่ธาตุหรือสารต้านอนุมูลอิสระในสารละลายออสโมติกในแอปเปิล [6] และการเสริมสารประกอบฟีนอลิกจากเมล็ดองุ่นในแอปเปิล กล้วย และมันฝรั่ง [7] เป็นต้น

วิธีออสโมซิสอาศัยความแตกต่างระหว่างความดันออสโมติกของสารละลายกับอาหารทำให้เกิดแรงขับ (driving force) ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่าง

สารละลายและอาหาร โดยน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากสารละลายที่เจือจางผ่านเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) ซึ่งคือเยื่อหุ้มเซลล์ ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าที่ล้อมรอบอยู่ ขณะเดียวกันจะมีการแพรของของแข็งจากสารละลายผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปยังชิ้นอาหาร [8,9] อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้เป็นการดึงน้ำออกบางส่วนจากชิ้นอาหาร ทำให้น้ำในอาหารลดลง โดยไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูง เมื่อนำมาใช้กับผักและผลไม้จึงเป็นวิธีลดปริมาณน้ำในผักผลไม้ที่ไม่รุนแรง อีกทั้งช่วยลดการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้นเมื่อนำไปแปรรูปร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ ได้แก่ การอบแห้ง การทอด การแช่เยือกแข็ง เป็นต้น [8,10,11] แต่เนื่องจากผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสสามารถลดปริมาณน้ำลงเพียงประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้น หรือมีค่าวอเตอร แอคติวิตี้ (a_w) ประมาณ 0.65 ซึ่งจุลินทรียยังสามารถเจริญเติบโต ดังนั้นจึงนิยมนำผลไมที่ผ่านการออสโมซิสมาผ่านขั้นตอนการทำแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55-70 °C [12-14]

เมล่อน (*Cucumismelo* var. *inodorus*) เป็นผลไม้ที่อยู่ในตระกูลแตงและมีการบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศ เนื่องด้วยกลิ่นหอม มีรสชาติหวาน มีสีสันสวยงามน่ารับประทาน นิยมนำมาบริโภคสดหรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เมล่อนอบแห้ง เมล่อนแช่อิ่ม ไอศกรีมเมล่อน เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความสะดวกในการขนส่ง อีกทั้งในเมล่อนนั้นยังมีเอนไซม์ที่มีชื่อว่า superoxide dismutase ซึ่งมีสรรพคุณช่วยต้านอนุมูลอิสระและลดกระบวนการทางเคมีภายในร่างกาย มีวิตามินซี เบต้าแคโรทีน แคลเซียม และธาตุเหล็ก โดยสารอาหารดังกล่าวมีประโยชน์ต่อร่างกาย อีกทั้งเมล่อนเป็นผลไม้ที่ไม่มีไขมัน คอเลสเตอรอล และพลังงานต่ำ เหมาะสำหรับผู้ที่ดูแลสุขภาพและผู้ที่กำลังควบคุมน้ำหนัก [15,16] นอกจากนี้ยังเป็นที่นิยมปลูกในกลุ่มเกษตรกร เนื่องจากเป็นพืชที่ใช้น้ำน้อย ราคาจำหน่ายอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม เมล่อนเป็นผลไม้ที่มีองค์ประกอบของน้ำสูง ดังนั้นอายุการเก็บรักษาจึงสั้นประกอบกับในช่วงฤดูร้อน พบว่าเมล่อนที่ผลิตออกมาโดยเกษตรกรในแต่ละแห่งมีคุณภาพค่อนข้างต่ำกว่าเมล่อนในช่วงฤดูกาลอื่น ๆ เช่น ค่าความหวานต่ำ ขนาดของลูกเล็ก ดังนั้นการนำเมล่อนที่คุณภาพต่ำและไม่ได้มาตรฐานมาผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าหรือช่วยยืดอายุการเก็บรักษาจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ หนึ่งในกระบวนการนั้นคือ การผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อนกึ่งแห้งพร้อมรับประทานด้วยเทคนิคการออสโมซิส (osmosis) ร่วมกับการอบแห้ง ทั้งนี้อาหารกึ่งแห้ง (intermediate moisture food) หมายถึงอาหารที่มีความชื้นปานกลาง โดยมีความชื้นร้อยละ 15-50 หรือมีค่าวอเตอรแอคติวิตี้ 0.60-0.85 ซึ่งมีน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมีหรือการเจริญของจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น วิธีการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งลมร้อนเป็นวิธีที่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งมีคุณภาพดี เนื่องจากวิธีการดึงน้ำออกบางส่วนจากชิ้นอาหารทำให้น้ำในอาหารลดลงก่อนนำไปอบแห้ง จึงทำให้ลดเวลาในการอบแห้งด้วยลมร้อน อีกทั้งช่วยลดการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส โดยคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ดีกว่าการอบแห้งเพียงอย่างเดียว [17-19] ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาผลของการดึงน้ำออกบางส่วนด้วยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล่อนกึ่งแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งและคุณภาพของเมล่อนหลังการออสโมซิสร่วมกับการอบแห้ง และตอบโจทย์ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการให้ชัดเจนมากขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ซื้อเมล่อน (*Cucumismelo* var. *indorus*) พันธุ์กรีนเน็ตที่มีขนาดสม่ำเสมอและไม่มีรอยตำหนิ วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 11-13 °Brix นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกผ่าครึ่งตัดส่วนที่เป็นเมล็ดออก จากนั้นตัดเมล่อนเป็นชิ้นรูปลูกบาศก์เมตรขนาด 2×2×2 เซนติเมตร และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพเบื้องต้น ได้แก่ ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี ความแข็ง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

2.2 การออสโมซิส

นำเมล่อนที่ได้เตรียมไว้จากขั้นตอนแรกแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 % เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ชั่งน้ำหนักและทดสอบปริมาณความชื้นของชิ้นเมล่อนเริ่มต้น แล้วนำเมล่อนไปแช่ในสารละลายกลูโคสที่จัดเตรียมไว้ 50 °Brix ในอัตราส่วนระหว่างเมล่อนกับสารละลายออสโมติก คือ 1 : 10 (โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำชิ้นเมล่อนออกจากสารละลาย ล้างโดยให้น้ำไหลผ่านชิ้นเมล่อนเป็นเวลา 30 วินาที วางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ ชั่งน้ำหนักและหาความชื้นหลังการออสโมซิส [20]

2.3 การอบแห้ง

นำเมล่อนที่ได้จากข้อ 2.2 มาตรวจสอบความชื้นเริ่มต้น แล้วนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven, Model WTB binder, Germany) โดยควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 60, 70 และ 80 °C บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและความชื้นของตัวอย่างทุก 30 นาที จนกระทั่งพบแนวโน้มของการเข้าสู่สภาวะคงตัวของน้ำหนัก ซึ่งเป็นการสิ้นสุดการทดลอง จากนั้นตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพ รวมถึงคำนวณหาค่าจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างเมล่อนออสโมซิสดังสมการที่ (1) และอัตราการอบแห้งดังสมการที่ (2) [21]

$$Moisture\ ratio\ (MR) = \frac{(M_t - M_{eq})}{M_i - M_{eq}} \quad (1)$$

$$Drying\ rate = \frac{(M_i - M_f)}{W_d} xt \quad (2)$$

โดยที่ MR คือ อัตราส่วนความชื้น M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%wb) M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ ของวัสดุ (%wb) M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (%wb) M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (%wb) W_d คือ มวลของวัสดุแห้ง (กิโลกรัม) และ t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

2.4.1 ปริมาณความชื้น (moisture content) อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน AOAC [22] โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม (น้ำหนักก่อนอบ) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven, Model WTB binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างพร้อมภาชนะใส่ในโถดูดความชื้นทันทีเป็นเวลา 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (3) รายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (% wb)

$$\%wb = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} x100 \quad (3)$$

โดยที่ W_i คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม) และ W_f คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2.4.2 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) หาด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (AquaLab Model Series 3 TE, USA)

2.4.3 ค่าสี (color) วัดด้วยเครื่อง color difference meter (Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L*, a*, b* ซึ่งทั้ง 3 ค่า เป็นการแสดงการวัดค่าสีเฉพาะเจาะจง โดยที่ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (lightness) มีค่า 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a* คือ ค่าความเป็นสี

เขียว (greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่าความเป็นสีน้ำเงิน (blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ โดยก่อนวัดค่าสีนั้น เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย standard calibration plate ค่า L*, a* และ b* คือ 98.11, -0.11 และ -0.08 ตามลำดับ

2.4.4 ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE*) โดยเก็บข้อมูลค่า L*, a* และ b* ที่วัดจากเครื่องวัดค่าสีในแต่ละสภาวะการทดสอบ โดยวัดค่าสีเริ่มต้นและภายหลังการเปลี่ยนแปลงที่เวลาในการอบแห้งระดับต่าง ๆ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวมด้วยสมการที่ 4 [23]

$$\Delta E^* = [(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

โดยที่ ΔE^* คือ ความแตกต่างของสี (total color difference) L_0^*, L^* คือ ค่าความสว่างของตัวอย่างก่อนกระบวนการอบแห้งและหลังกระบวนการอบแห้ง a_0^*, a^* คือ ค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของตัวอย่างก่อนการอบแห้งกระบวนการและหลังกระบวนการอบแห้ง และ b_0^*, b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของตัวอย่างก่อนการอบแห้งกระบวนการและหลังกระบวนการอบแห้ง

2.4.5 ค่าความแข็ง (hardness) วัดโดยใช้แรงเฉือน (shear force) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Universal Tester Machine, Model LRX Plus, UK) โดยใช้หัวตัด Warner Bratzler Blade ตัดตัวอย่างให้ขาดด้วยความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที ตัดบริเวณด้านกลางของชิ้นเมล่อน และพิจารณาถึงค่าความแข็ง (maximum force) ของตัวอย่างจากการตัดเฉือนในหน่วยนิวตัน (N) ซึ่งแต่ละตัวอย่างทดลอง 3 ซ้ำ

2.4.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (total soluble solid) ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม และเติมน้ำกลั่นปริมาณ 100 กรัม (อัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำกลั่น คือ 1:5) จากนั้นปั่นตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม 2 นาที และนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำด้วยเครื่อง hand refractometer (Model HR-190, Optika, Italy) ที่อุณหภูมิห้อง บันทึกค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำและคำนวณค่าปริมาณร้อยละของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดของตัวอย่าง โดยคูณกับ factor = 5 [24,25]

2.4.7 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ประเมินตัวอย่างผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 5-point hedonic scale โดยมีระดับคะแนน 5 ระดับ ได้แก่ 5 = ชอบมากที่สุด 4 = ชอบ 3 = ปานกลาง 2 = ไม่ชอบ และ 1 = ไม่ชอบที่สุด ส่วนด้านคุณลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน ซึ่งไม่ได้ผ่านการฝึกฝนสำหรับการชิม ถือเป็นตัวแทนของผู้บริโภคทั่วไป วิเคราะห์การเปรียบเทียบทางสถิติแบบ Duncan's new multiple-rang test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ [26]

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95 % [one-way analysis of variance (ANOVA)] และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ DMRT

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

การนำเมล่อนมาแช่ในสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 50 °Brix เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าปริมาณความชื้นของเมล่อนลดลงจาก 88.2 เป็น 78.4 %wb (ข้อมูลดังรูปที่ 1) จากนั้นนำตัวอย่างเมล่อนอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและอัตราส่วน

ความชื้นของตัวอย่างเมล่อนออสโมซิสกับเวลาทุก 30 นาที ดังรูปที่ 1 และ 2 หลังจากการอบแห้งได้วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีแสดงดังรูปที่ 3 ถึง 6

3.1 การอบแห้งเมล่อนออสโมซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ

รูปที่ 1 แสดงการลดลงของความชื้นระหว่างการอบแห้งเมล่อนออสโมซิส โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าความชื้น ที่ความชื้นเริ่มต้นของเมล่อนออสโมซิส 78.4 %wb หลังจากการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นของตัวอย่างอยู่ที่ประมาณ 20 %wb พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 ºC ใช้เวลา 480, 420 และ 390 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการอบแห้งนั้นปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับการอบแห้งลมร้อนด้วยอุณหภูมิสูง (80 ºC) จากนั้นเมื่อเวลาการอบแห้งนานขึ้นปริมาณความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ จนคงที่ในช่วงท้ายของการอบแห้ง เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชิ้นเมล่อนมายังผิวหน้าของชิ้นเมล่อนจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบผิวหน้าชิ้นเมล่อนจึงแห้ง เรียกช่วงนี้ว่าอัตราการทำแห้งลดลง ช่วงนี้เป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำแห้ง จนน้ำในอาหารไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าอีกและสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้การถ่ายเทมวลในชิ้นเมล่อนเร็วขึ้น เพราะทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น [27,28] ทั้งนี้มีงานวิจัยที่ให้ผลสอดคล้องกันโดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งผลไม้แช่อิ่มส่งผลให้เวลาในการอบแห้งลดลง [29,30]

รูปที่ 2 แสดงอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาอบแห้งที่สภาวะการอบแห้ง 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 60, 70 และ 80 ºC พบว่าการอบแห้งเมล่อนออสโมซิสเป็นการอบแห้งแบบอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น กล่าวคือ ช่วงแรกของการอบแห้งอัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในเมล่อนออสโมซิสมีความชื้นสูงประมาณ 78.4 %wb ทำให้การถ่ายเทมวลของน้ำจากภายในเมล่อนออสโมซิสไปยังผิวหน้าเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาอบ

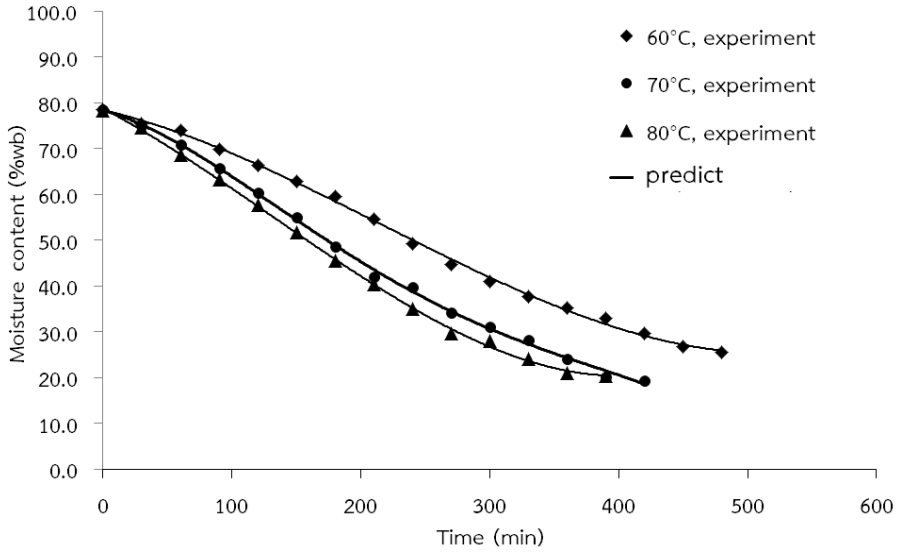

Figure 1 Effect of drying temperature on moisture content versus time during drying of melon osmosis at 60, 70, and 80 ºC.

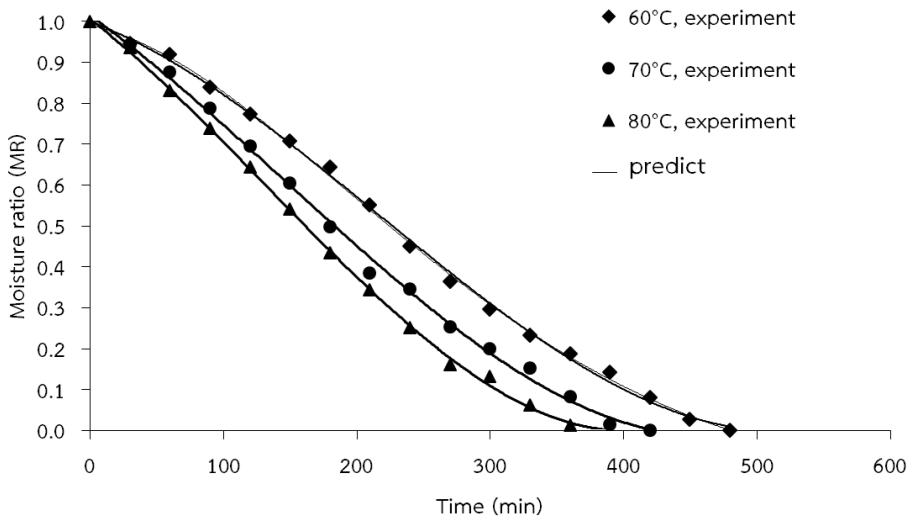

Figure 2 Effect of drying temperature on moisture ratio versus time during drying of melon osmosis at 60, 70, and 80 ºC.

Table 1 Effect of drying temperature on drying time and drying rate for the of melon osmosis.

Drying temperatures (ºC)	Drying times (min)	Initial (Final) moisture content (%wb)	Drying rates (kg/hr)
60	480	78.48 (25.42)	4.115
70	420	78.45 (19.29)	4.359
80	390	78.44 (20.39)	5.577

Table 2 Sensory scores of dehydrated melon product

Drying temperatures (ºC)	Sensory scores					
	Appearance	Color	Flavor^{ns}	Taste	Texture	Overall preference
60	4.07±0.98^{a}	3.77±1.11^{a}	3.40±1.09^{a}	3.10±1.05^{ab}	3.07±1.16^{ab}	3.03±1.07^{b}
70	3.58±0.88^{b}	3.30±0.93^{ab}	3.70±1.01^{a}	3.46±1.07^{a}	3.43±0.98^{a}	3.78±0.89^{a}
80	2.79±0.78^{c}	3.13±0.86^{b}	3.07±0.94^{a}	2.80±0.67^{b}	2.60±0.82^{b}	2.67±0.69^{b}

Mean in the same column with difference letters are significantly difference ($p \leq 0.05$); ^{ns} non-significant

อบแห้งนานขึ้น ความชื้นบริเวณผิวและภายในเมล่อนออสโมซิสจะมีความชื้นต่ำลง อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำจากเมล่อนออสโมซิสไปยังผิวหน้าจึงลดลงอย่างช้า ๆ ทำให้อัตราการอบแห้งไม่คงที่รวมถึงใช้เวลาในการอบแห้งที่ต่างกันตามแต่ละอุณหภูมิ นั้นคือ อัตราการลดลงของความชื้นในช่วงเวลาอบแห้งจะมีความ

สัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นกับเวลาอบแห้ง สามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพแนนเชียล และเมื่อคำนวณอัตราการอบแห้งแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง (80 °C) ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด 5.577 kg/hr และลดลง 4.359 และ 4.115 kg/hr เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งลดลง 70 และ 60 °C ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิคือปัจจัยที่สำคัญของการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (ตารางที่ 2) ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่ม [9,12-14]

3.2 การดึงน้ำออกบางส่วนโดยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล่อนกึ่งแห้ง

3.2.1 คุณภาพด้านสี การทดลองวัดค่า L*, a* และ b* ของเมล่อนสด (fresh) มีค่า 60.3, -5.6 และ 27.8 ตามลำดับ และรูปที่ 3 หลังการนำเมล่อนมาแช่ในสารละลายกลูโคส 50 °Brix เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (O-50) พบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่าสี L*, a* และ b* คือ 45.0, -2.5 และ 25.0 ตามลำดับ ทั้งนี้สีเป็นสมบัติกายภาพของอาหารที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สีของอาหารมักเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร การออสโมซิสเป็นการแปรรูปแบบไม่รุนแรง ซึ่งมีส่วนช่วยรักษาการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงค่าสีเพียงเล็กน้อยหลังการออสโมซิส [30] จากนั้นเมื่อนำเมล่อนออสโมซิส (O-50) ไปอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 (D-60), 70 (D-70) และ 80 °C (D-80) พบว่าความสว่าง (L*) ลดลง 37.9-31.4 เมื่อเมล่อนออสโมซิสผ่านกระบวนการอบแห้งและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแต่ละอุณหภูมิ ขณะที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่า a* และ b* ที่ 10.5-26.6 และ 23.6-36.6 ตามลำดับ แสดงว่ามีแนวโน้มของสีที่เข้มขึ้นหลังการอบแห้ง การลดลงของค่าความสว่างขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของเมล่อนออสโมซิสหลังการอบแห้งอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับ

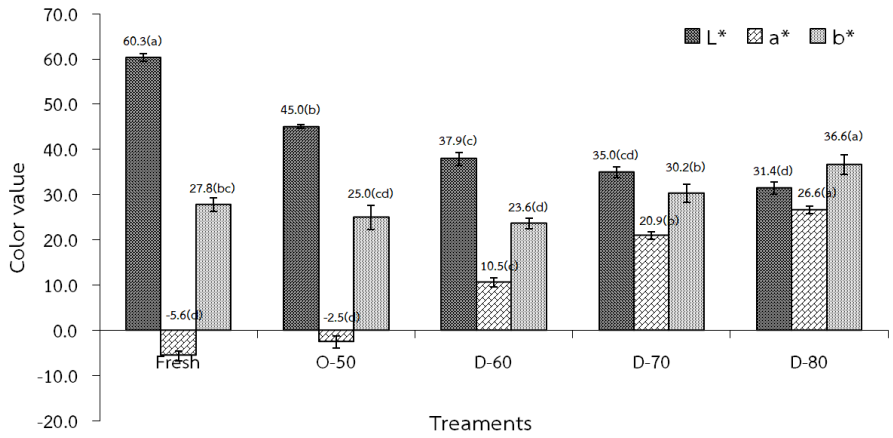

Figure 3 Changes in color values of fresh melon, osmosis melon and osmosis melon drying at 60, 70, and 80 °C. [Different letters above the data bars indicate significant difference treatment (DMRT, $p < 0.05$)]

เอนไซม์ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์กับกรดแอมิโน โดยมีความร้อนจากการอบแห้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลที่ได้คือสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล [13,31] จึงสังเกตได้ว่า เมล่อนออสโมซิสมีสีเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าหลังการออสโมซิสเมล่อน (O-50) มีค่า ΔE^* เพิ่มขึ้น 14.36 เมื่อเปรียบเทียบกับเมล่อนสด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ให้ค่า ΔE^* เท่ากับ 22.37, 25.31 และ 30.26 ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการนำเมล่อนไปออสโมซิสร่วมกับการอบแห้ง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื่องจากสารละลายกลูโคสทำหน้าที่เคลือบชิ้นเมล่อนหลังการออสโมซิส และเมื่อนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลเอมีนและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล ซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น [32]

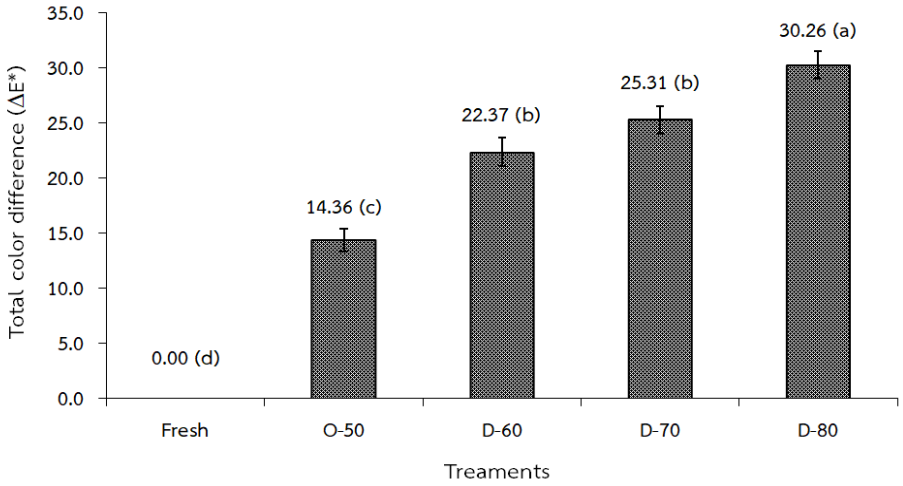

Figure 4 Changes in total color difference values of fresh melon, osmosis melon and osmosis melon drying at 60, 70, and 80 °C. [Different letters above the data bars indicate significant difference treatment (DMRT, $p < 0.05$)]

3.2.2 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ รูปที่ 5 แสดงผลของการวัดค่าความแข็งและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของเมล่อนสด เมล่อนออสโมซิสและเมล่อนออสโมซิสที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C พบว่าหลังการออสโมซิลและการอบแห้งค่าความแข็งของเมล่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หากพิจารณาที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60 °C (D-60) มีค่าความแข็งน้อยที่สุด (23.8 N) และเพิ่มสูงสุดที่การอบแห้ง 80 °C (D-80) (26.4 N) เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งยิ่งสูงขึ้นทำให้เกิดการระเหยของน้ำในส่วนของน้ำตาลบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วส่งผลให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น

และเกิดการไหม้ของน้ำตาลที่บริเวณผิวซึ่งสอดคล้องกับค่าสีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้ง แข็งและกระด้างมากขึ้น เช่นเดียวกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำหรือที่เรียกว่าค่าความหวาน รูปที่ 5 พบว่าเมล่อนสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 11.2 °Brix และเพิ่มขึ้นเป็น 26.8 °Brix ($p \leq 0.05$) หลังการออสโมซิส จากนั้นยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C เท่ากับ 27.5, 28.6 และ 30.0 °Brix ตามลำดับ

3.2.3 คุณภาพด้านปริมาณน้ำอิสระและความชื้น รูปที่ 6 พบว่าเมล่อนสดมีค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.906 และลดลงหลังการออสโมซิส 0.794 ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 88.2 เป็น 78.4 %wb ทั้งนี้เนื่องจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลดลงของน้ำหนักเริ่มต้น และเมื่อนำมาแปรรูปต่อด้วยการทำแห้งเป็นการลดปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระให้อยู่ในระดับที่ไม่เสี่ยงต่อการเจริญของจุลินทรีย์หรือระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญ และช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยนำมาทำแห้งต่อ ซึ่งการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ให้ค่าปริมาณอิสระ 0.564, 0.562 และ 0.502 ตามลำดับ รวมถึงให้ค่าความชื้น 22.3-27.9 %wb โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของเมล่อนสดโดยการแช่ในสารละลายกลูโคสและลดความชื้นด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ชิ้นเมล่อนมีความแห้งสูง มีปริมาณน้ำอิสระ 0.502-0.564 ซึ่งต่ำกว่าระดับจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียจะสามารถเจริญ ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และรา กล่าวคือ กิจกรรมของจุลินทรีย์เกือบทั้งหมดถูกยับยั้งที่ปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 [33,34] จึงเป็นเหตุผลที่สามารถช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้น

3.2.4 คุณภาพด้านประสาทสัมผัส การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เมล่อนแช่อิ่มอบแห้งจำนวน 30 คน ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคในด้านกลิ่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง (60, 70 และ 80 °C) โดยได้คะแนนความชอบ 3.07-3.70 (ปานกลาง) แต่ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่างกัน ($p \leq 0.05$)

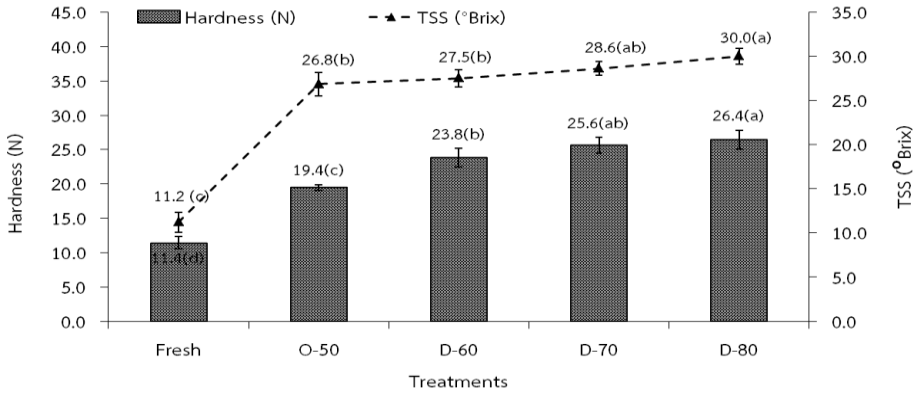

Figure 5 Changes in hardness values and total soluble solid (TSS) of fresh melon, osmosis melon and osmosis melon drying at 60, 70, and 80 °C. [Different letters above the data bars indicate significant difference treatment (DMRT, $p < 0.05$)]

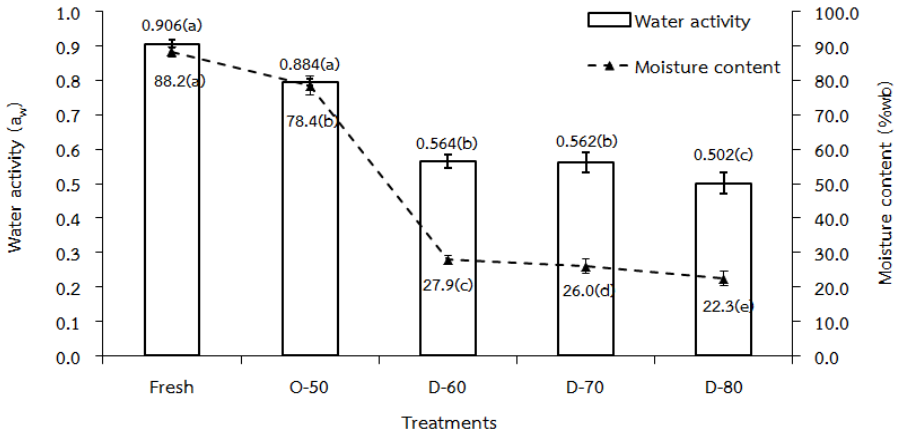

Figure 6 Changes in water activity values and moisture content of fresh melon, osmosis melon and osmosis melon drying at 60, 70, and 80 °C. [Different letters above the data bars indicate significant difference treatment (DMRT, $p < 0.05$)]

ลักษณะปรากฏ 2.79-4.07 (ปานกลางถึงชอบ) ด้านสี 3.13-3.77 (ปานกลาง) โดยสังเกตพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคจะลดลง หรือสอดคล้องกับการวัดค่าสีที่พบว่าเมื่อผลิตภัณฑ์มีสีที่เข้มขึ้นสังเกตจากค่า ΔE* จะส่งผลต่อความชอบด้านสีที่ลดลง เช่นเดียวกับในด้านเนื้อสัมผัส 2.60-3.43 (ปานกลางถึงชอบ) และด้านรสชาติ 2.80-3.46 (ปานกลางถึงชอบ) ซึ่งผลหารทดสอบแสดงให้เห็นว่าคะแนนความชอบลดลงเมื่ออบแห้งเมล่อนออสโมซิสที่อุณหภูมิสูง (80 °C) ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวผลิตภัณฑ์มีความแข็งสูงสุด [34] โดยที่ความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัสสอดคล้องการค่าความแข็งที่วัดโดยใช้เครื่องดังรูปที่ 5 พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งสูงค่าความแข็งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชอบลดลง ในส่วนด้านความชอบโดยรวม 2.67-3.78 (ปานกลางถึงชอบ) ทั้งนี้ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงสุดกับผลิตภัณฑ์เมล่อนแช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ในด้านลักษณะปรากฏและสี ขณะที่ให้การยอมรับกับผลิตภัณฑ์เมล่อนแช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ในด้าน กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด

4. สรุป

เมล่อนสดพันธุ์กรีนเน็ตมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11.2 °Brix ความชื้นเริ่มต้น 88.2 %wb (a_w = 0.906) ค่า L*, a* และ b* มีค่า 60.3, -5.6 และ 27.8 ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นเมล่อนสดที่มีความหวานค่อนข้างต่ำ เมื่อนำเมล่อนมาแช่ในสารละลายกลูโคส 50 °Brix เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งพบการลดลงของความชื้นเป็น 78.4 %wb และค่าสี L*, a* และ b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ 45.0, -2.5 และ 25.0 ตามลำดับ เนื่องจากมีการออสโมซิสระหว่างน้ำตาลและน้ำในเนื้อเยื่อของชิ้นเมล่อน ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น 26.8 °Brix หลังการออสโมซิสนำเมล่อนอบแห้งที่ 60, 70 และ 80 °C ทั้งนี้หลังการออสโมซิสความชื้นเมล่อน 78.4 %wb และอบแห้งจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความชื้นที่ประมาณ 20 %wb ใช้เวลา 480, 420 และ 390 นาที ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิการอบแห้งสูง (80 °C) ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด 5.577 kg/hr และลดลง 4.359 และ 4.115 kg/hr เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งลดลง 70 และ 60 °C ตามลำดับ

รวมถึงยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลทำให้ความสว่าง (L*) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของเมล่อนแช่อิ่มอบแห้งลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE*) เพิ่มขึ้น เมล่อนสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 11.2 °Brix และเพิ่มขึ้นเป็น 26.8 °Brix ($p \leq 0.05$) หลังการออสโมซิส จากนั้นยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C เท่ากับ 27.5, 28.6 และ 30.0 °Brix ตามลำดับ ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงสุดกับผลิตภัณฑ์เมล่อนแช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ในด้านลักษณะปรากฏและสี ขณะที่ให้การยอมรับกับผลิตภัณฑ์เมล่อนแช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด การทดสอบนี้สามารถดำเนินการทดสอบเพิ่มเติมในส่วนของปรับความเข้มข้นของน้ำตาลและชนิดของน้ำตาลที่ใช้ในการทดสอบให้หลากหลายขึ้น หรือการปรับเปลี่ยนรูปทรงของผลิตภัณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยและวัสดุอุปกรณ์

6. References

[1] Sacchetti, G., Gianotti, A. and Dalla, R.M., 2001, Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability, Study on apple osmotic treatments, J. Food Eng. 49: 163-173.

[2] Ferrari, C.C. and Hubinger, M.D., 2008, Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes, Int. J. Food Sci. Technol. 43: 2065-2074.

[3] Therdthai, N., 2008, Agro-industrial Process Design, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

[4] Pattanapa, K., 2010, Process Development of Osmotically Dehydrated Mandarin cv. Sai-Namphaung, Master's Thesis, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

[5] Dermesonlouoglou, E.K., Giannakourou, M.C. and Taoukis, P.S., 2007, Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes, J. Food Eng. 78: 272-280.

[6] Barrera, C., Betoret, N. and Fito, P., 2004, Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith), J. Food Eng. 65: 9-14.

[7] Rozek, A., Garcia-Perez, J., Lopez, F., Guell, C. and Ferrando, M., 2010, Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying, J. Food Eng. 99: 142-150.

[8] Sirijariyawat, A., 2015, Influence of osmodehydrofreezing on melon quality, Publ. Health J. Burapha Univ. 20: 118-130.

[9] Chandra, S. and Kumari, D., 2015, Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: A review, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 55: 552-561.

[10] Torregiani, D., 1993, Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, Food Res.

Int. 26: 59-69.

[11] Ikoko, J. and Kuri, V., 2007, Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain, Food Chem. 102: 523-531.

[12] Chinnasarn, S., Pleansri, A. and Manomai hataitip, P., 2013, Effect of osmotic solution on mass transfer and quality of inter mediate moisture leech lime product, Agric. Sci. J. 44(2)(Suppl.): 1-4. (in Thai)

[13] Aktas, T., Ulger, P., Daglioglu, F. and Hasturk, F., 2013, Change of nutritional and physical quality characteristics during storage of osmotic pretreated apple before hot air drying and sensory evaluation, J. Food Qual. 36: 411-425.

[14] Ritmanee, T., 2017, Quality and drying behavior of dried star fruits by osmotic dehydration method, EAU Herit. J. Sci. Technol. 11(1): 148-159. (in Thai)

[15] Wolbang, C.M., Fitos, J.L. and Treeby, M.T., 2008, The effect of high pressure processing on nutritional value and quality attributes of *Cucumis melo* L. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 9(2): 196-200.

[16] Laur, L.M. and Tian L., 2011, Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and Honey dew melons and imported melons, J. Food Comp. Anal. 24: 194-201.

[17] Torregiani, D., 1993, Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, Food Res. Int. 26: 59-69.

[18] Yetenayet, B. and Hosahalli, R., 2010, Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings, Eur. J. Appl. Sci. Technol. 1: 1-15.

[19] Changchub, L. and Lertworasirikul, S., 2011, Process development of osmotic dehydrated lemon albedo, Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

[20] Khamchu, W. and Yuenyongputtakal, W., 2007, Effect of sucrose and NaCl on mass transfer during osmotic treatment of Muskmelon (*Cucumis melo* L.), Agric. Sci. J. 38(6)(Suppl.): 91-94. (in Thai)

[21] Kolawole, O.F., Joseph, C.I. and Funke, A.A., 2007, Kinetics of mass transfer and color changes during osmotic dehydration of watermelon, J. Food Eng. 80: 979-985.

[22] AOAC, 2005, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg MD.

[23] Rhim, J.W., Nunes, R.V., Jones, V.A., Swartzel, K.R., 1889, Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature, J. Food Sci. 54: 776-777.

[24] Bartolomé, P.A., Rupérez, P. and Fúster, C., 1996, Non-volatile organic acids, pH and titratable acidity changes in pineapple fruit slices during frozen storage, J. Sci.

Food Agric. 70: 475-480.

[25] Tovar, B., García, H.S. and Mata, M., 2005, Evolution of carbohydrates of pre-cut mango slices subjected to osmotic dehydration, Plant Food Human Nutr. 60: 181-186.

[26] Aanpreung, P., 2008, Principles of food sensory analysis, 2nd Ed., Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai)

[27] Liemlaem, S., 2014, Quality of Sugaring Figs (Ma Nod) Dehydrated by Tray Dryer, Master's Theses, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

[28] Saowapark, S., Summawattana, T. and Artnarong, S., 2014, Effect of drying temperature on quality of dried Garcinia (*Garcinia atroviridis*), Agric. Sci. J. 45(2) (Suppl.): 37-40. (in Thai)

[29] Mastrantonia, S.D.S., Pereira, L.M. and Hubinger, M.D., 2006, Mass transfer and diffusion coefficient determination in osmotically dehydrated guavas, pp. 860-870, Proceedings of 15th International Drying Symposium (IDS 2006), Budapest.

[30] Khoyi, M.R. and Hessari, J., 2007, Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution, J. Food Eng. 78: 1355-1360.

[31] Tortoe, C., 2010, A review of osmodehy dration for food industry, Afr. J. Food Sci. 4: 303-324.

[32] Khan, M.R., 2012, Osmotic dehydration technique for fruit preservation: A review, Pak. J. Food Sci. 22: 71-85.

[33] Rattanapanon, N., 2000, Food Chemistry, 4th Ed., Odean Store Publisher, Bangkok. (in Thai)

[34] Fellows, P., 2000, Food Processing Techno logy Principles and Practice, 2nd Ed., Woodhead Publishing, Ltd., Cambridge, 575 p.