วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.3) September – December 2023 บทความวิจัย

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มะยงชิดออสโมซิส

Effects of Drying Temperatures and Times on the Beta-Carotene Content and Physical Properties of Osmosis Mayongchit Product

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์[1], สุนัน ปานสาคร[1*] และ อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์[2]

Jaturong Langkapin[1] , Sunan Parnsakhorn[1*] and Orawan Oupathumpanont[2]

[1] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประเทศไทย*

[2] *คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประเทศไทย*

[1] *Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand*

[2] *Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand*

Received : 7 August 2023

Revised : 3 November 2023

Accepted : 5 November 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มะยงชิดออสโมซิส โดยนำมะยงชิด (*Bouea macrophylla Giff.*) พันธุ์ทูลเกล้าหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2x3x0.5 cm. (กxยxส) ออสโมซิสในสารละลายซูโครส 50°Brix เป็นเวลา 5 hr พบว่ามะยงชิดสดความชื้น 65.14%wb และลดลงหลังการออสโมสซีสที่ 47.87%wb หลังการอบแห้งใช้เวลาเท่ากับ 330, 180 และ 130 min ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C ตามลำดับ เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 18%wb และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ต่ำกว่า 0.6 ให้ลักษณะของอัตราการลดลงของความชื้นในการอบแห้งมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นกับเวลาอบแห้ง และที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง (70°C) มีค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด 6.719 g/hr จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเข้มขึ้นสังเกตได้จากค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) มีแนวโน้มสูงขึ้นสอดคล้องกับการลดลงของความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงโมเลกุลน้ำน้อยลงทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) เพิ่มสูงขึ้น เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แข็งขึ้นให้ค่าสูงสุดที่การอบแห้ง 70°C เท่ากับ 10.42 N ในส่วนปริมาณสารเบต้าแคโรทีนให้ค่าสูงสุดกับมะยงชิดสดเท่ากับ 0.448 mg/100 g FW และลดลงหลังการออสโมซิสร่วมกับการอบแห้ง

คำสำคัญ : มะยงชิด ; ออสโมซิส ; การอบแห้ง ; ซูโครส ; เบต้าแคโรทีน

Abstract

This research was to study the effects of drying temperatures and times on the beta-carotene content and physical properties of the osmosis mayongchit product. Mayong chid (*Bouea macrophylla Giff.*) Thullao variety was cut to sizes of 2x3x0.5 cm. (WxDxH), and then soaked in sucrose concentration at 50°Brix for 5 hr. It was found that the moisture content of fresh mayongchit was 65.14%wb and decreased after osmosis to 47.87%wb. After drying, the drying time was 330, 180 and 130 min at 50, 60 and 70°C respectively, for which the final moisture content was about 18%wb and the water activity (a_w) was lower than 0.6. The decreasing rate of moisture content during drying had a nonlinear relationship with drying time. The high drying temperature (70°C) gave the highest drying rate of 6.719 g/hr. For physicochemical properties analysis, the results showed that increasing the drying temperature resulted in the product's color tending to darken, as observed from the total color difference (ΔE*) tending to increase. This corresponded to the decreases in lightness (L*) and yellowness (b*), and an increase in redness (a*). At high temperatures, less water molecules resulted in an increase in the total dissolved solids (TSS). The texture of the product was solidified with a maximum value of 10.42 N at a drying temperature of 70°C. In terms of beta-carotene content, the highest value in fresh mayongchit was 0.448 mg/100 g FW and decreased after osmosis with drying.

Keywords : mayongchit ; osmosis ; drying ; glucose ; beta-carotene

***Corresponding author. E-mail** : sunan.p@en.rmutt.ac.th

บทนำ

ผลไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบค่อนข้างสูงจึงทำให้เสื่อมเสียง่าย ดังนั้นการแปรรูปผลไม้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและสามารถมีผลไม้ไว้รับประทานได้ตลอดปี การแช่อิ่มอบแห้งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการแปรรูปเนื่องจากยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียและขึ้นรา และช่วยลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด การแปรรูปผลไม้แช่อิ่มอบแห้งใช้หลักการออสโมซิส (Osmosis) ร่วมกับการอบแห้ง ทำได้โดยเตรียมสารละลายออสโมซิส เช่น กลูโครส ซูโครส ฟรุคโตส หรือเกลือ ที่มีความเข้มข้นสูงรวมถึงมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity: aw) ต่ำกว่าผักผลไม้นั้น จากนั้นแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายดังกล่าวเรียกว่าการออสโมซิส (Sacchetti *et al*., 2001; Ferrari & Hubinger, 2008) สารละลายออสโมซิสที่มีความเข้มข้นสูงส่วนใหญ่ที่ใช้จะมีค่าในช่วงร้อยละ 30-70 ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ (Therdthai, 2008) ในขณะที่หากสารละลายออสโมซิสมีความเข้มข้นที่สูงมากเกินไป (มากกว่าร้อยละ 70) จะมีผลต่อการขัดขวางการถ่ายเทมวลสาร (Pattanapa, 2010) กระบวนการออสโมซิสเกิดจากการที่น้ำซึ่งเป็นสารละลายเจือจางในชิ้นผลไม้เคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปยังสารละลายออสโมซิสที่อยู่นอกเซลล์ที่ผิวไม้นั้นแช่อยู่ ระหว่างนั้นของแข็งที่อ่อนในสารละลายจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเซลล์ของชิ้นผลไม้ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างสารละลายและชิ้นผลไม้ (Sirijariyawat, 2015; Chandra & Kumari, 2015) ส่งผลให้ปริมาณน้ำในอาหารลดลงภายใต้อุณหภูมิปรกติ จึงเป็นกระบวนการลดปริมาณน้ำในผลไม้ที่ไม่รุนแรง สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการและให้คุณลักษณะที่ดีทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อจะนำไปแปรรูปร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เช่น การลดความชื้น การทอด และการแช่แข็ง เป็นต้น (Torregiani, 1993; Ikoko & Kuri, 2007; Sirijariyawat, 2015) นอกจากนี้ ยังมีการนำกระบวนการออสโมซิสมาใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้เพื่อสุขภาพ เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศออสโมซิสด้วยน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (Dermesonlouoglou *et al*., 2007) การเสริมแคลเซียมและธาตุเหล็กในกระบวนการออสโมซิสดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 30°C สำหรับชิ้นแอปเปิล (Barrera *et al*.,2004) และการเติมฟีนอลจากองุ่นลงในผักและผลไม้ด้วยกระบวนการออสโมซิสและความคงตัวของฟีนอลิกระหว่างการทำให้แห้งด้วยอากาศ (Rozek *et al*., 2010) เป็นต้น ทั้งนี้ด้วยกระบวนการออสโมซิสสามารถลดปริมาณน้ำลงได้ประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้นหรือมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ประมาณ 0.65 ทั้งนี้ยังเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ จึงอาจมีปัญหาในเรื่องอายุการเก็บรักษา ดังนั้นจึงนิยมนำผลไม้ที่ผ่านการออสโม ซิสมาผ่านขั้นตอนการทำแห้งด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น ทำแห้งแบบสุญญากาศ (Khongsomphet & Yuenyongputtakal, 2014) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Nimmanpipug & Therdthai, 2013) และการอบแห้งด้วยลมร้อนในช่วงอุณหภูมิ 55-70°C (Chinnasarn *et al*., 2013; Aktas *et al*., 2013; Ritmanee, 2017) ข้อดีของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งคือ เนื้อสัมผัสของผลไม้ยังคงมีความชุ่มช่ำไม่แห้งเหมือนผลไม้อบแห้งทั่วไป สามารถเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้อง และที่สำคัญมีการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าผลไม้ที่ล้นตลาดและมีราคาที่ตกต่ำให้สามารถมีบริโภคได้ตลอดทั้งปี

มะยงชิด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bouea macrophylla Giff.* มีชื่อสามัญ คือ Marian Plum เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae (Smitinan, 1980) เป็นผลไม้ในตระกูลมะปรางที่มีผลผลิตออกในช่วงฤดูร้อน แหล่งปลูกมะยงชิดในส่วนใหญ่อยู่ที่จังหวัดนครนายก สุโขทัย ปราจีนบุรี เพชรบูรณ์ และกำแพงเพชร เป็นต้น (Seehanam *et al*., 2016) มะยงชิดเป็นผลไม้ที่มี

เนื้อเยอะ ฉ่ำน้ำ เมื่อรับประทานจะให้ความรู้สึกสดชื่น ผลมะยงชิดมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ เช่น มะยงชิดพันธุ์ทูลเกล้า มะยงชิดพันธุ์บางขุนนนท์ และมะยงชิดพันธุ์ท่าด่าน ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีผลดก ผลมีขนาดใหญ่และเมล็ดเล็ก ในส่วนของรสชาติพบว่าถ้ามีรสหวานมากกว่ารสเปรี้ยวจะเรียกว่า มะยงชิด ในทางตรงกันข้ามถ้ามีรสเปรี้ยวมากกว่ารสหวานจะเรียกว่า มะยงห่าง เมื่อพิจารณามะยงชิดปริมาณ 100 g พบว่ามีเบต้าแคโรทีนมากถึง 207 μg จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีส่วนช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง เบต้าแคโรทีนมีผลกระตุ้นให้เซลล์ภูมิคุ้มกัน "เซลล์ทีเฮลเปอร์ (T helper cell)" ช่วยต้านทานสิ่งแปลกปลอมในร่างกาย จึงทำให้ช่วยลดโอกาสความเสี่ยงที่ก่อเกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้เบต้าแคโรทีนยังเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอจึงช่วยบำรุงสายตา ช่วยป้องกันเลือดออกตามไรฟันเนื่องจากมีวิตามินซี มีฟอสฟอรัสและแคลเซียมช่วยบำรุงฟันและกระดูกให้แข็งแรง (Jongthet, N. (2010) แต่มะยงชิดเป็นผลไม้ที่อายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง และด้วยปัจจุบันเกษตรกรหันมาปลูกมะยงชิดจำนวนมากจึงพบว่าบางช่วงของฤดูกาลมีราคาตกต่ำและผลผลิตจำนวนมาก ดังนั้นจึงนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น มะยงชิดอบแห้ง มะยงชิดแช่อิ่ม ไอศกรีมมะยงชิด ซอสมะยงชิด เป็นต้น ดังนั้นการนำมะยงชิดที่คุณภาพต่ำไม่ได้มาตรฐาน มาผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเป็นการเพิ่มมูลค่าจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจหนึ่งในกระบวนการนั้นคือ การผลิตผลิตภัณฑ์มะยงชิดกึ่งแห้งพร้อมรับประทานด้วยเทคนิคการออสโมซิสร่วมกับการอบแห้ง

วิธีการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งลมร้อนเป็นวิธีที่สามารถผลิตอาหารที่มีคุณภาพดี สังเกตได้จากคุณลักษณะด้าน รสชาติ กลิ่น สี เนื้อสัมผัสมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเนื่องจากเวลาของการอบแห้งลดลง เช่น Sakooei-Vayghan *et al*., (2020) รายงานว่า การแช่ชิ้นลูกท้อในสารละลายซอร์บิทอล 35°Brix ที่ 55°C เป็นเวลา 30 และ 45 min ก่อนการทำให้แห้งด้วยลมร้อนส่งผลต่อเวลาการอบแห้งลดลงเหลือ 8 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในช่วง 0.60-0.85 ความชื้นร้อยละ 15-50 เรียกว่า อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food) (Torregiani, 1993; Yetenayet & Hosahalli, 2010; Changchub & Lertworasirikul, 2011) ดังนั้นจากที่กล่าวมาทั้งหมดรวมถึงการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีน และสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มะยงชิดออสโมซิสมีข้อมูลที่ตีพิมพ์เผยแพร่น้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทำความเข้าใจถึงพฤติกรรมการอบแห้งและคุณภาพของมะยงชิดหลังการออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจนำไปพัฒนาต่อยอดได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

จัดซื้อมะยงชิด (*Boueaburmanica Griff*.) พันธุ์ทูลเกล้า ที่มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีรอยตำหนิ วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดระหว่าง 14-15°Brix นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกคว้านเอาเมล็ดออกจากนั้นตัดมะยงชิดเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2x3x0.5 cm. (กxยxส) และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ความชื้น วอเตอร์แอคติวิตี้ สี ความแข็ง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

ขั้นตอนการออสโมซิส

นำชิ้นมะยงชิดที่ได้เตรียมไว้จากขั้นตอนแรกแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 % เป็นเวลา 10 min ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเพิ่มความคงตัวให้กับเนื้อสัมผัสของชิ้นมะยงชิด (Sripui, 2003) จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ทำการชั่งน้ำหนักและทดสอบปริมาณความชื้นของชิ้นมะยงชิดเริ่มต้นและนำชิ้นมะยงชิดไปแช่ในสารละลายซูโครสที่ได้จัดเตรียมไว้ความเข้มข้น 50°Brix ในอัตราส่วนระหว่างชิ้นมะยงชิดและสารละลายซูโครสคือ 1:10 (โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 hr เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำชิ้นมะยงชิดออกจากสารละลาย แล้วล้างโดยให้น้ำไหลผ่านชิ้นมะยงชิดเป็นเวลา 30 s วางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็น เวลา 2 min แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ ชั่งน้ำหนักและหาความชื้นหลังการออสโมซิส (Khamchu & Yuenyongputtakal, 2007)

ขั้นตอนการอบแห้ง

นำมะยงชิดที่ผ่านการออสโมซิสแล้วมาตรวจสอบความชื้นเริ่มต้น จากนั้นนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Model WTB binder, Germany) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 3 ระดับ ได้แก่ 50°C, 60°C และ 70°C ตามลำดับ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและความชื้นของตัวอย่างทุก 30 min จนเข้าสู่สภาวะคงตัวของน้ำหนักเป็นสิ้นสุดการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์หาสมบัติกายภาพและทางเคมี พร้อมทั้งคำนวณหาค่าจลนพลศาสตร์อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) ของตัวอย่างชิ้นมะยงชิดออสโมซิสดังสมการที่ (1) และอัตราการอบแห้ง (Drying rate) ดังสมการที่ (2) (Kolawole *et al*., 2007)

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

$$Drying\ rate = \frac{(M_i - M_f)}{t} x w_d \quad (2)$$

โดยที่

MR คือ อัตราส่วนความชื้น
M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%wb)
M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ ของวัสดุ (%wb)
M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (%wb)
M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (%wb)
W_d คือ มวลของวัสดุแห้ง (g)
t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง (hr)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

- *ปริมาณความชื้น (Moisture content)* : อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน AOAC (2005) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g (น้ำหนักก่อนอบ) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Model WTB binder, Germany) ที่อุณหภูมิ

105°C เป็นเวลา 16 hr จากนั้นนำตัวอย่างพร้อมภาชนะใส่ในโถดูดความชื้นทันทีเป็นเวลา 30 min และชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (3) รายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (%wb)

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

โดยที่

W_i คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

W_f คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

- *ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)* : วัดค่าด้วยเครื่องวอเตอร์แอคติวิตี้ (Model Aqualab Model 3 TE, USA) ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

- *ค่าสี (Color)* : วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L*, a*, b* โดยที่ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า 0 คือ สีดำ และค่า 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a* มีค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง (Redness) หากมีค่าเป็นลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว (Greenness) และค่า b* มีค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสีเครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L*,a* และ b* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

- *ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE*)* : ทำการเก็บข้อมูลค่า L*, a*, b* ที่วัดจากเครื่องวัดค่าสีในแต่ละสภาวะการทดสอบโดยวัดค่าสีเริ่มต้นและภายหลังการเปลี่ยนแปลงที่เวลาในการอบแห้งระดับต่างๆ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวมด้วยสมการที่ 4 (Rhim *et al*., 2008)

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

โดยที่ ΔE^* = ความแตกต่างสีโดยรวม (Total color difference)

L_0^*, L^* = ค่าความสว่างของตัวอย่างก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง

a_0^*, a^* = ค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของตัวอย่างก่อนการอบแห้งและหลังอบแห้ง

b_0^*, b^* = ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของตัวอย่างก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง

- *ค่าความแข็ง (Hardness)* : วัดค่าความแข็งโดยใช้แรงเฉือน (Shear force) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Universal Tester Machine, Model LRX Plus, UK) โดยใช้หัวตัด Warner Bratzler Blade ตัดชิ้นมะยงชิดให้ขาดด้วยความเร็ว

50 mm/min ตัดบริเวณส่วนกลางของชิ้นมะยงชิด และพิจารณาถึงค่าความแข็ง (Maximum force) ของตัวอย่างจากการตัดเฉือนในหน่วยนิวตัน (N) ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

- *ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid, TSS)* : ชั่งตัวอย่าง 20 g และเติมน้ำกลั่นปริมาณ 100 g (อัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:5) จากนั้นปั่นตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม 2 min และนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Hand Refractometer (Model HR-190, Optika, Italy) ที่อุณหภูมิห้อง บันทึกค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และคำนวณค่าปริมาณร้อยละของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดของตัวอย่างโดยคูณกับ Factor เท่ากับ 5 (Bartolomé *et al*., 1996; Tovar *et al*., 2005) ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

- *การทดสอบปริมาณสารเบต้าแคโรทีน :* อ้างอิงวิธีการของ Nagata & Yamashita (1992) เตรียมสารละลายอะซิโตนผสมกับสารละลายเฮกเซนในอัตราส่วน 2:3 นำชิ้นมะยงชิดสับละเอียดมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 1 g ใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวก้นแหลม เติมสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น 20 ml นำตัวอย่างที่เติมสารละลายแล้วไปปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 1-2 min ปิดฝา พักไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 24 hr จากนั้นนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น A_{663}, A_{645}, A_{505} และ A_{453} nm ตามลำดับ และคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการที่ 5 ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

$$\text{เบต้าแคโรทีน (mg/100 g)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453} \quad (5)$$

วิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One–way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

จากการนำมะยงชิดสดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นประมาณ 15.40°Brix แช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 5 hr พบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 41.00°Brix ในขณะที่ความชื้นลดลงจาก 65.14%wb เป็น 47.87%wb ซึ่งเป็นการดึงน้ำออกบางส่วนโดยวิธีออสโมซิส ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือมะยงชิดแช่อิ่ม หลังจากนั้นนำตัวอย่างชิ้นมะยงชิดแช่อิ่มมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C, 60°C และ 70°C แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของตัวอย่างชิ้นมะยงชิดออสโมซิสกับเวลาทุก 30 min ดัง Figure 1 และ Figure 2 หลังจากการอบแห้งได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีแสดงผลดัง Table 1 Figure 3-7 ตามลำดับ

ผลการอบแห้งชิ้นมะยงชิดออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงความชื้นเทียบกับเวลาของชิ้นมะยงชิดออสโมซิสอบแห้งแสดงดังภาพที่ 1 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าความชื้น จากความชื้นเริ่มต้นของมะยงชิดออสโมซิสเท่ากับ 47.87%wb หลังการอบแห้งต้องการให้ตัวอย่างมีความชื้นที่ประมาณ 18%wb อ้างอิงจาก มผช.136/2556 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลไม้แห้งความชื้นผลิตภัณฑ์ไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C 60°C และ 70°C ใช้เวลาเท่ากับ 330, 180 และ 130 min ตามลำดับ

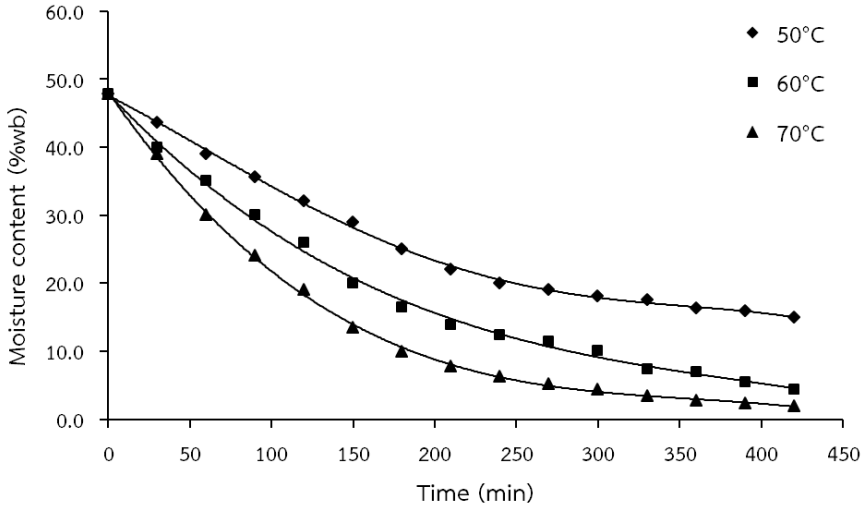

Figure 1 Changes in moisture versus time of dried osmotic mayongchit slices at 50, 60 and 70°C.

Figure 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาของชิ้นมะยงชิดออสโมซิสอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C พบว่าอัตราการลดลงของความชื้นของทั้งสามระดับอุณหภูมิในช่วงเวลาอบแห้งมีความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นกับเวลาอบแห้ง สามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพแนนเชียล (ค่า r^2 มีค่าระหว่าง 0.90-0.91) การลดลงของอัตราส่วนความชื้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น โครงสร้างของอาหาร อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ดังนั้นจาก Table 1 จึงเห็นว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง (70°C) ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด 6.719 g/hr และลดลงเท่ากับ 3.712 g/hr และ 3.037 g/hr เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งลดลง 60°C และ 50°C ตามลำดับ

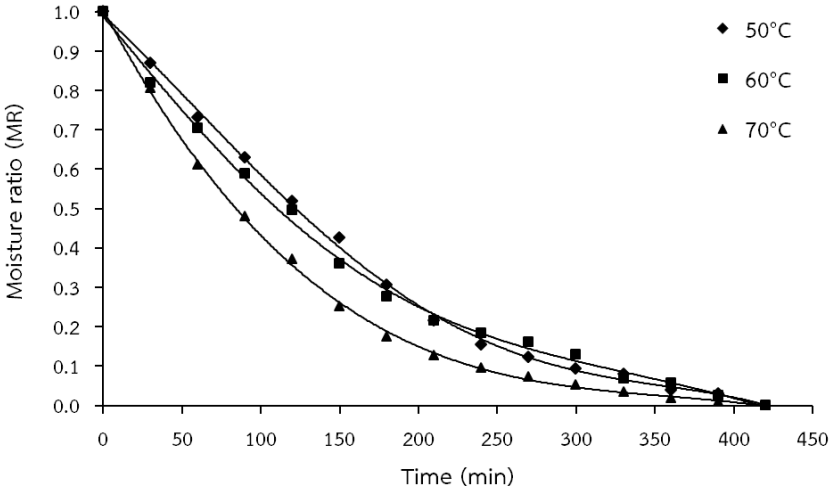

Figure 2 Changes in moisture ratio versus time of dried osmosis mayongchit slices at 50, 60 and 70°C.

Table 1 Effects of temperature level on drying rate of osmosis mayongchit slices at the temperature of 50, 60 and 70°C.

Drying temperature (°C)	Drying time (min)	Initial (Final) moisture content (%wb)	Drying rate (g/hr)
50°C	330	47.87±1.25 (18.87±0.94)	3.037±0.12
60°C	180	47.87±1.25 (18.37±1.01)	3.712±0.09
70°C	130	47.87±1.25 (18.65±1.02)	6.719±0.10

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดกึ่งแห้ง

ผลการทดสอบคุณภาพด้านสี

Figure 3 ทดสอบวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของมะยงชิดสด (Fresh) มีค่าเท่ากับ 33.9, 17.2 และ 65.6 ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นมะยงชิดสดแช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 5 hr (MYS (50°Brix)) ค่า L* และ a* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับมะยงชิดสด ในขณะที่มีการลดลงของค่า b* แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) หรือชิ้นมะยงชิดหลังการออสโมซิสสว่างมากขึ้นไม่คล้ำมีสีเหลืองลดลง นั่นคือการออสโมซิสสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อนำค่าสี L*,a*,b* มาคำนวณเพื่อพิจารณาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) ดัง Figure 4 พบว่าชิ้นมะยงชิดหลังการออสโมซิสมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี หรือค่า ΔE^* เพิ่มขึ้น 13.44 เมื่อเปรียบเทียบกับมะยงชิดสด จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C 60°C และ 70°C ให้ค่า ΔE^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 15.20, 20.32 และ 24.58 ตามลำดับ

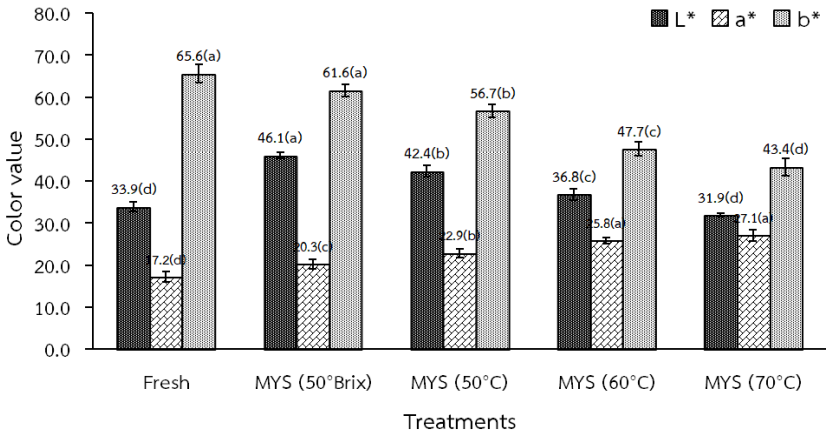

Figure 3 Change in color (L*,a*,b*) of dried osmosis mayongchit slices at the temperature of 50, 60 and 70°C

(In each treatment with different letters were significantly different (Duncan New's Multiple Range Test (DMRT), $p \leq 0.05$, n = 3).)

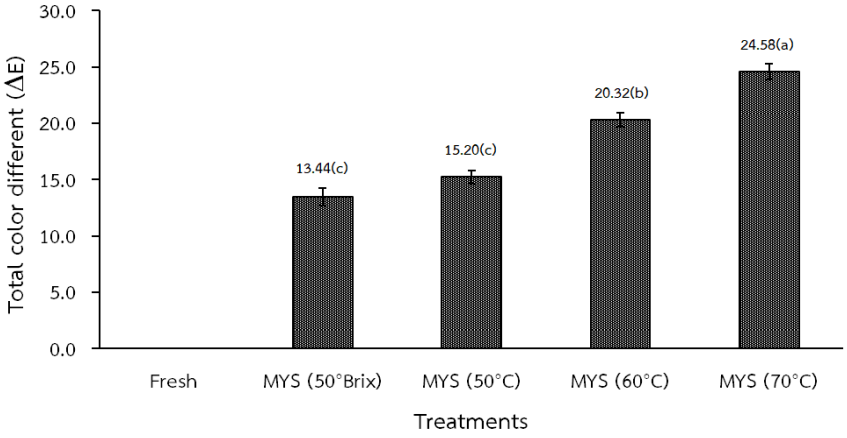

Figure 4 Change in total color difference (ΔE*) of dried osmosis mayongchit slices at the temperature of 50, 60 and 70°C

(In each treatment with different letters were significantly different (Duncan New's Multiple Range Test (DMRT), $p \leq 0.05$, n = 3).)

ผลการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ชิ้นมะยงชิดสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) 15.40°Brix หลังการออสโมซิสค่าความหวานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 41.00°Brix แสดงดัง Figure 5 สอดคล้องกับค่าความแข็งที่ปรากฏมากขึ้นจาก 2.28 N เป็น 2.59 N ตามลำดับ เมื่อนำชิ้นมะยงชิดออสโมซิสอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C พบว่าระดับอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นมะยงชิดมีค่าความแข็งแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยให้ค่าสูงสุดที่การอบแห้ง 70°C เท่ากับ 10.42 N สอดคล้องกับเมื่อโมเลกุลน้ำน้อยลงหลังการอบแห้ง ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ทั้งหมด (TSS) เพิ่มสูงขึ้นโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C ให้ค่าเท่ากับ 45.00, 47.33 และ 53.00°Brix ตามลำดับ จึงต้องใช้แรงเฉือนมากขึ้นในขั้นตอนการทดสอบ

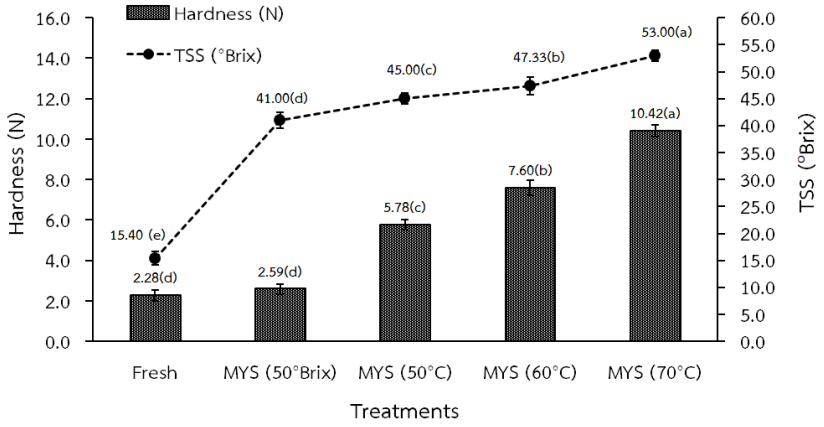

Figure 5 Change in hardness and total soluble solids of dried osmosis mayongchit slices at the temperature of 50, 60 and 70°C

(In each treatment with different letters were significantly different (Duncan New's Multiple Range Test (DMRT), $p \leq 0.05$, n = 3).)

ผลการทดสอบคุณภาพด้านค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และความชื้น

จาก Figure 6 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และความชื้นของชิ้นมะยงชิดออสโมซิสอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C พบว่าชิ้นมะยงชิดสดมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.90 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) หลังการออสโมซิสเท่ากับ 0.81 ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 65.14%wb เป็น 47.87%wb

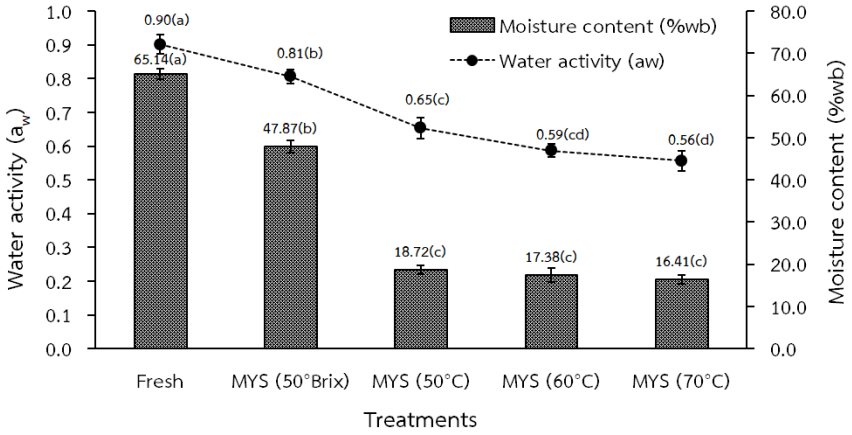

Figure 6 Change in water activity and moisture content of dried osmosis mayongchit slices at the temperature of 50, 60 and 70°C

(In each treatment with different letters were significantly different (Duncan New's Multiple Range Test (DMRT), $p \leq 0.05$, n = 3).)

ผลการทดสอบปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

จาก Figure 7 แสดงผลการทดสอบค่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของมะยงชิดสดเท่ากับ 0.448 mg/100 g FW และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หลังการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครส 50°Brix เท่ากับ 0.199 mg/100 g FW ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแทนที่ของสารละลายน้ำตาลซูโครสในระหว่างกระบวนการออสโมซิส ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณเบต้าแคโรทีน จากนั้นเมื่ออบแห้งชิ้นมะยงชิดออสโมซิสที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C ให้ค่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง เท่ากับ 0.182, 0.166 และ 0.133 mg/100 g FW ตามลำดับ

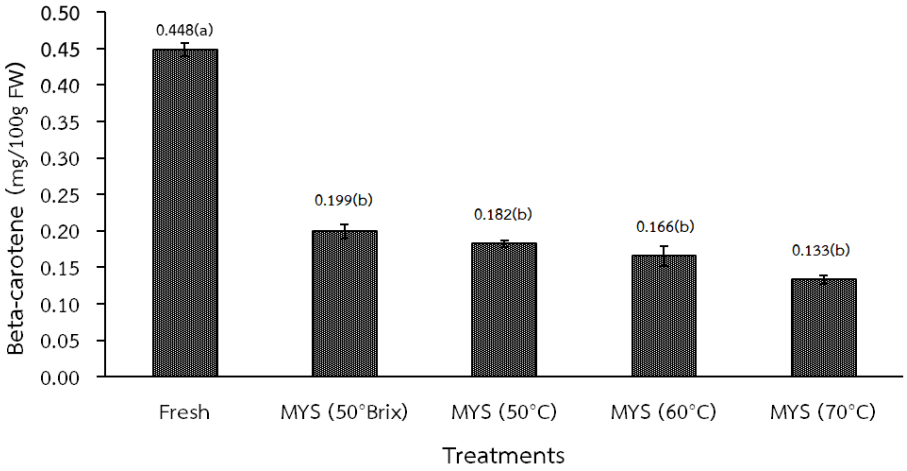

Figure 7 Change in beta-carotene of dried osmosis mayongchit slices at the temperature of 50, 60 and 70°C

(In each treatment with different letters were significantly different (Duncan New's Multiple Range Test (DMRT), $p \leq 0.05$, n = 3).)

วิจารณ์ผลการวิจัย

การอบแห้งชิ้นมะยงชิดออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการอบแห้งมะยงชิดออสโมซิสจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการอบแห้ง (0-100 min) ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการอบแห้งลมร้อนสูง (70°C) การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้น้ำในชิ้นมะยงชิดเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทมวลในชิ้นมะยงชิดสูงขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการทำแห้งนานขึ้น เรียกช่วงนี้ว่าอัตราการทำแห้งลดลง ทั้งนี้การทำแห้งลดลงเนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบผิวหน้าชิ้นมะยงชิดสูงกว่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชิ้นมะยงชิดมายังผิวหน้า จึงสังเกตได้ว่าผิวหน้าของชิ้นมะยงชิดแห้งกว่าภายใน ช่วงนี้เป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำแห้ง จนน้ำในอาหารไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้า เรียกว่ากระบวนการอบแห้งจะสิ้นสุดลง (Liemlaem, 2014; Saowapark *et al*., 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ritmanee (2017) พบว่าอัตราการอบแห้งมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ในส่วนการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาของชิ้นมะยงชิดออสโมซิสอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C พบว่าการลดลงของอัตราส่วนความชื้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น โครงสร้างของอาหาร อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นต้น (Mill, 1995; Kaleemullah & Kailappan, 2006) อัตราการลดลงของความชื้นของทั้งสามระดับอุณหภูมิในช่วงเวลาอบแห้ง มีความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นกับเวลาอบแห้ง สามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพแนนเชียล หมายความว่าในช่วงแรกของการอบแห้งอัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว หรือน้ำที่ผิวหน้าของชิ้นมะยงชิดออสโมซิสมีการระเหยเมื่อได้รับความร้อน ส่วนใหญ่ในช่วงนี้จะเป็นน้ำอิสระที่ไม่จับกับโมเลกุลของอาหาร จากนั้นอัตราส่วนความชื้นจะเริ่มมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงจึงเป็นช่วงที่อัตราการแห้งคงที่ ในช่วงนี้น้ำจากในชิ้นมะยงชิดออสโมซิสจะเคลื่อนตัวจากภายในมาทดแทนน้ำที่ผิวหน้าอย่างต่อเนื่อง เมื่อถึงจุดหนึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิวจะเกิดขึ้นได้ยาก จะเห็นว่าอัตราส่วนความชื้นเริ่มคงที่และเข้าสู่จุดที่เรียกว่าจุดความชื้นสมดุล ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 7.78, 5.23 และ 3.45%wb ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 50, 60 and 70°C ตามลำดับ อุณหภูมิในการอบแห้งจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญการอบแห้งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายๆ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มและพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เวลาในการอบแห้งลดลง (Chandra & Kumari, 2015; Chinnasarn et al., 2013; Aktas et al., 2013; Ritmanee, 2017

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดกึ่งแห้ง

คุณภาพด้านสี

มีงานวิจัยรายว่าการลดลงของสีน้ำตาลระหว่างกระบวนการออสโมซิสชิ้นมะยงชิดด้วยสารละลายซูโครสเนื่องมาจากชิ้นมะยงชิดถูกเคลือบด้วยสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จึงช่วยป้องกันการสัมผัสกับอากาศจึงช่วยลดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงสีที่ลดลง (Khan, 2012) จากนั้นเมื่อนำมะยงชิดออสโมซิส (MYS (50°Brix)) ไปอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 50°C (MYS (50°C)), 60°C (MYS (60°C)), และ 70°C (MYS (70°C)), พบว่า L* และ b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่พบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่า a* นั้นแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของสีเข้มมากขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าค่าความเป็นสีแดงของชิ้นมะยงชิดออสโมซิสหลังการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลืองและค่าความสว่างลดลง อาจมีสาเหตุจากการอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์กับกรดแอมิโนเรียกว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ผลที่ได้คือสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล (Aktas *et al*., 2013)

นำค่าสี L*,a*,b* มาคำนวณเพื่อพิจารณาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) พบการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับค่าความเป็นสีแดงที่พบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C มีค่าสีแดงสูงกว่าชิ้นมะยงชิดที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นคือความร้อนจากการอบแห้ง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ หรือเรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด ในขั้นตอนการอบแห้งพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วงเร่งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาล จากการที่หมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซ์ได้เป็นโคซิลเอมีน (Khan, 2012) โดยพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนเป็นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดอัตรา

การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับหมู่อะมิโนเพิ่มขึ้น (martins and van Boekel, 2003) อัตราของปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณเมื่ออุณหภูมิความร้อนเพิ่มขึ้น (Billaud *et al,* 2004)

เมื่อนำชิ้นมะยงชิดออสโมซิสอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C พบว่าระดับอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นมะยงชิดมีค่าความแข็งแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากระหว่างการอบแห้งช่วงแรกน้ำที่ผิวหน้าชิ้นมะยงชิดระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าไม่ทันกับอัตราการระเหย หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิวหน้าทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่าเปลือกแข็ง (Case hardening) มีลักษณะที่ผิวหน้าของชิ้นมะยงชิดแข็งกระด้าง และเป็นเปลือกหุ้มส่วนของชิ้นมะยงชิดที่ยังไม่แห้งไว้ จึงพบว่ามีลักษณะชิ้นที่แข็งนอกนุ่มใน สอดคล้องกับเมื่อโมเลกุลน้ำน้อยลงทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) เพิ่มสูงขึ้นจึงต้องใช้แรงเฉือนมากขึ้นในขั้นตอนการทดสอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ritmanee (2017) ที่ทำการศึกษาการแช่อิ่มชิ้นมะฟืองด้วยสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 40, 50 และ 60°Brix นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C เป็นเวลา 300 min พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าความแน่นเนื้อที่ค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิในการอบสูง

<u>คุณภาพด้านค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และความชื้น</u>

การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้นพบว่า ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญ หากสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วง ซึ่งต่ำกว่าระดับที่จุลินทรีย์ แบคทีเรีย ยีสต์และรา สามารถเจริญได้ที่จะเป็นสาเหตุทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์เกือบทั้งหมดถูกยับยั้งที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่า 0.6 (Rattanapanon, 2000 ; Fellows, 2000) ดังนั้นขั้นตอนการออสโมซิสสามารถดึงน้ำออกจากชิ้นมะยงชิดได้ ทำให้ปริมาณน้ำลดลงของน้ำหนักเริ่มต้น และเมื่อนำมาแปรรูปต่อด้วยการทำแห้งเป็นการลดปริมาณความชื้น และที่สำคัญพบว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ให้ค่าในช่วงที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จึงมีแนวโน้มในการช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้

<u>ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน</u>

งานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบหลักคือ มะยงชิด ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่ามะยงชิดเป็นผลไม้ที่มีเบต้าแคโรทีนค่อนข้างสูง (Jongthet, 2010) เป็นวิตามินชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ และเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีสีส้ม สีเหลือง ทั้งนี้โดยทั่วไปเบต้าแคโรทีนสามารถเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอได้ตามกลไกของร่างกายมนุษย์ และทำหน้าที่เสมือนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้ร่างกายแข็งแรงมีความสำคัญในการรักษาสุขภาพ (Murray, 1996) จากการทดสอบโดยนำชิ้นมะยงชิดมาออสโมซิสด้วยสารละลายน้ำตาลซูโครสพบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างกระบวนการออสโมซิสเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นสองทิศทางพร้อมกันในทิศทางตรงข้ามกัน โดยในช่วงเริ่มแรกของกระบวนการเป็นการถ่ายเทมวลของน้ำจะซึมออกจากชิ้นผลไม้ผ่านผนังเซลล์เข้าสู่สารละลายออสโมซิส และในขณะเดียวกันของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายออสโมซิสจะซึมผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์ผลไม้ ระหว่างนี้ไม่เพียงแต่น้ำเท่านั้นที่ซึมออกจากเซลล์แต่ของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ในเซลล์ผลไม้บางส่วนจะซึมออกมาสู่สารละลายออสโมซิส ในที่นี้อาจรวมถึงสารเบต้าแคโรทีนเช่นกัน (Nunak, 2009)

เมื่อนำชิ้นมะยงชิดออสโมซิสไปอบแห้งพบแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น อย่างไรก็ตามค่าการลดลงของเบต้าแคโรทีนมีการลดลงเพียงเล็กน้อยอาจด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีค่าไม่สูงมากนัก งานวิจัยของ Tanongkankit *et al*., (2016) รายงานว่าเบต้าแคโรทีนสามารถสลายตัวได้เนื่องจากความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดการสลายตัวจากความร้อนได้มากขึ้น ประกอบกับเบต้าแคโรทีนเป็นสารที่มีความไม่อิ่มตัวสูง โมเลกุลของสารเบต้าแคโรทีนมีพันธะคู่อยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้สารเบต้าแคโรทีนทำปฏิกิริยาและเสื่อมสภาพได้ง่าย สารเบต้าแคโรทีนสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยความร้อนและออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น (Pénicaud *et al*., 2011)

สรุปผลการวิจัย

มะยงชิดสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 15.40°Brix หลังการออสโมซิสในสารละลายซูโครส 50°Brix ที่ 5 hr มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 41.00°Brix ในขณะที่ความชื้นลดลงจาก 65.15%wb เป็น 47.87%wb จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นมะยงชิดออสโมซิสอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C, 60°C และ 70°C จนความชื้นสุดท้ายที่ประมาณ 18 %wb. ใช้เวลาเท่ากับ 330, 180 และ 130 min ตามลำดับ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (70°C) ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด 6.719 g/hr และพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลทำให้ความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลงในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE*) เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) 15.40°Brix หลังการออสโมซิสค่าความหวานเพิ่มขึ้นเท่ากับ 41.00°Brix และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 53.00 เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C สอดคล้องกับค่าความแข็งที่ปรากฏมากขึ้นหลังการออสโมซิสและการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้กระบวนการออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่า 0.6 และความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่า 18%wb ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เสี่ยงต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จึงมีแนวโน้มของการช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ ในส่วนค่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนให้ค่าสูงสุดในมะยงชิดสดเท่ากับ 0.448 mg/100 g FW และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการออสโมซิสเท่ากับ 0.199 mg/100 g FW และหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C พบการลดลงเพียงเล็กน้อยของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 0.182, 0.166 และ 0.133 mg/100 g FW ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยและวัสดุอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

Aktas, T., Ulger, P., Daglioglu, F. & Hasturk, F. (2013). Change of nutritional and physical quality characteristics during storage of osmosis pretreated apple before hot air drying and sensory evaluation. *Journal of Food Quality*, *36*(6),411–425.

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

Bartolomé, P.A., Rupérez, P. & Fúster, C. (1996). Non-volatile organic acids, pH and titratable acidity changes in pineapple fruit slices during frozen storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *70*(4), 475-480.

Barrera, C., Betoret, N. & Fito, P. (2004). Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineer*ing, *65*(1),9-14.

Billaud, C., Brun-Mérimée, S., Louarme, L., & Nicolas, J. (2004). Effect of glutathione and Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with glutathione on polyphenoloxidase from apple - I: Enzymatic browning and enzyme activity inhibition. Food Chemistry, *84*(2), 223-233.

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.

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

Chinnasarn, S., Pleansri, A. & Manomaihataitip, P. (2013). Effect of Osmotic Solution on Mass Transfer and Quality of Intermediate Moisture Leech Lime Product. *Agricultural Sci. J.*, *44*(2)(Suppl.),1-4. (in Thai)

Dermesonlouoglou, E.K., Giannakourou, M.C. & Taoukis ,P.S. (2007). Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *Journal of Food Engi*neering, *78*(1),272-280.

Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology Principles and Practice*, 2nd ed., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 575p.

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.

Jongthet, N. (2010). *nutritional value in fruit.* (1st edition). Department of Health, Ministry of Public Health. Printing House of the Agricultural Cooperative Association of Thailand Limited.

Kaleemullah, S. & Kailappan, R. (2006). Modeling of thin-layer drying kinetics of red chillies. *Journal of Food Engineering*, *76*(1),531-537.

Khan M.R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruit preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, *22*(2),71-85.

Khamchu, W. & Yuenyongputtakal, W. (2007). Effect of Sucrose and NaCl on Mass Transfer during Osmotic Treatment of Muskmelon (Cucumis melo L.). *Agricultural Sci. J.*, *38*(6) (Suppl.),91-94. (in Thai)

Khongsomphet, S. & Yuenyongputtakal, W. (2014). Effect of osmotic dehydrated combined with vacuum condition on quality of intermediate moisture Kluai Khai (*Musa AA group*). Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry. 4-7 Feb. 2014, 106-113. (in Thai)

Kolawole, O. F., Joseph, C. I. & Funke, A. A. (2007). Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, *80*(3),979–985.

Liemlaem, S. (2014). *Quality of sugaring figs (Ma Nod) Dehydrated by Tray Dryer*. Theses and Dissertations. Chiang Mai University. (in Thai)

Martins, S.I.F.S., & van Boekel, M.A.J.S. (2003). Melanoidins extinction coefficient in the glucose/glycine Maillard reaction. Food Chemistry, *83*,135-142.

Mill, A.F.(1995). *Heat and mass transfer*. Richard D. Irwin, Chicago.

Murray, M.T. (1996). *Vitamin A and Carotenes*. In: Encyclopedia of Nutritional Supplements. 1996, USA: Prima Publishing. pp 19-38.

Nagata, M. & Yamashita, I. (1992) Simple Method for Simultaneous Determinations of Chlorophyll and Carotenoids in Tomato Fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish*, *39*, 925-928.

Nunak, N. (2009). A Review of Factors and Pre-Treatments Affecting Mass Transfer Rate of Food during Osmotic Process. *KMUTT Research & Development Journal*, *32*(1), 191-201.

Nimmanpipug, N. & Therdthai, N. (2013). Effect of osmotic dehydration time on hot air drying and microwave vacuum drying of papaya. *Food and Applied Bioscience Journal*, *1*(1),1-10.

Pattanapa, K. (2010). *Process development of osmotically dehydrated Mandarin cv. (Sai-Namphaung)*. Master of Science Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Pénicaud, C., Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Dornier, M. & Bohuon. P. (2011). Degradation of β-carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review. *Fruits*, *66*, 417-440.

Rattanapanon, N. (2000). Food Chemistry. 4th ed, Odean Store Publisher, Bangkok (in Thai)

Rhim, J. W., Nunes, R. V., Jones, V. A., & Swartzel, K. R. (2008). Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature. *Journal of Food Science*, *54*(3),776–777.

Ritmanee, T (2017). Quality and Drying Behavior of Dried Star Fruits by Osmotic Dehydration Method. EAU HERITAGE *Journal Science and Technology*, *11*(1),148-159. (in Thai)

Rozek, A., Garcia-Perez, J., Lopez, F., Guell, C. & Ferrando, M. (2010). Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*, *99*(2),142-150.

Sacchetti, G., Gianotti, A. & Dalla, R. M. (2001). Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability, Study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, *49*(2),163-173.

Saowapark, S., Summawattana, T. & Artnarong, S. (2014). Effect of Drying Temperature on Quality of Dried Garcinia (Garciniaatroviridis). *Agricultural Sci. J.*, *45*(2)(Suppl.),37-40. (in Thai)

Sakooei-Vayghan, R.; Peighambardoust, S.H.; Hesari, J.; & Peressini, D. (2020). Effects of osmotic dehydration (with and without Sonication) and pectin-based coating pretreatments on functional properties and color of hot-air dried apricot cubes. *Food Chemistry*, *311*(1), 125978.

Seehanam, P., Somniyam, V., & Munrot, D. (2016). Influence of fruit size on quality of Marian Plum cv. Sawasdee (Bouea macrophylla Giff. cv. Sawasdee). *KHON KAEN AGR. J.*, *44*(1),95-104.

Sirijariyawat, A. (2015). Influence of Osmodehydrofreezing on Melon Quality. *The public health journal of burapha university*, *20*(2),118-130.

Smitinan, T. (1980). Species of Thailand. (Botanical name - native name). Department of Forestry, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 379 p. (in Thai)

Sripui, J. (2003). Fruit and vegetable processing. Academic Service Centre Khon Kaen University, 11(1): 58-64.

Tanongkankit, Y., Narkprasom, K. & Narkprasom, N. (2016). Effect of Processing on Physical Property and Carotenoid Content in Natural Food Colorant from Gac aril. *Journal of Food Technology, Siam University*, *11*(1), 47-52. (in Thai)

Therdthai, N. (2008). Agro-industrial process design. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Tovar, B., García, H.S. & Mata, M. (2005). Evolution of carbohydrates of pre-cut mango slices subjected to osmotic dehydration. *Plant Foods for Human Nutrition*, *60*(4),181-186.

Torregiani, D. (1993). Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing, *Food Research Int*ernational. *26*(1),59-69.

Yetenayet, B. & Hosahalli, R. (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *European Journal of Applied Science and Technology*, *1*(1),1-15.