# ผลของการแช่อิ่มอบแห้งแบบออสโมซีสต่อคุณภาพของผลหม่อนอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

รวงนลิน เทพนวล[1*], สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์[1] , อรุโณทัย เจือมณี[1] และ สุมาลี เรืองนิ่ม[1]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี, สุราษฎร์ธานี
*ผู้รับผิดชอบบทความ: ruangnalin.the@sru.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งแบบออสโมซิสจากผลหม่อนสดสายพันธุ์เชียงใหม่ โดยขั้นตอนแรกทำการศึกษาผลของระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อนสดที่แตกต่างกัน 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ ผลหม่อนกึ่งสุก ผลหม่อนสุกและผลหม่อนสุกเต็มที่ต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีของผลหม่อน เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีพบว่า ปริมาณฟินอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อน โดยผลหม่อนสุกเต็มที่จะมีปริมาณสารประกอบฟิโนลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 80.87 ± 0.15 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง และ 11.38 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยมีค่าร้อยละการยับยั้ง DPPH เท่ากับ 78.65 ± 1.48 และจากการศึกษาสภาวะออสโมซิสที่เหมาะสมในการผลิตผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งแบบฮอสโมซีส พบว่าความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและระยะเวลาในการแช่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง ถึงแม้ว่าการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งที่อัตราการแช่ผลหม่อนสดต่อสารละลายซูโครสเท่ากับ 1:2 ที่ระดับความเข้มข้น 60 $^{o}$Brix แช่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง จะได้รับความพึงพอใจจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดในเกือบทุกด้าน

**คำสำคัญ:** หม่อน การอบแห้งแบบออสโมซีส การอบแห้ง

# Effect of osmotic dehydrated on the quality properties of mulberries dried in a carbinet type dryer

Ruangnalin Thepnuan[1*], Supaporn Apirattananusorn[1] , Arunothai Juemanee[1] and Sumalee Ruangnim[1]

[1]Department of Food Science and Technology Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani

*corresponding author: ruangnalin.the@sru.ac.th

**Abstract**

The object of this research was to develop the production of osmotic dehydrated mulberry from fresh Chiang Mai mulberries. The first step the effect of mature stage including semi-mature stage, mature stage and fully mature stage on physical and chemical properties were studied. For phytochemical in term of total phenolic compound and the amount of anthocyanin the results showed that the highest of total phenolic compound and the amount of anthocyanin were obtained from fully mature stage. From fully mature stage of fresh mulberry has amount of total phenolic and anthocyanin compound as 80.87 ± 0.15 mg of cyanidin-3-glucosides and 11.38 ± 0.21 mg/mL, respectively. The results of antioxidant activity with DPPH inhibition as 78.65 ± 1.48. Moreover, a study of different concentration of sucrose solution and soaking time indicated that high concentration and soaking time caused the increase of water loss and solid gain in the product. Moreover, the sensory evaluation of the osmotic dehydrated mulberry was also done by 40 panelists with 9 point hedonic scale test, and revealed that were not significantly different ($p>0.05$) in all osmotic dehydrated mulberry. However, the results showed that appropriate condition for osmosis had the highest overall acceptable sensory score. The results from this research could be use as ratio between mulberry and sucrose solution (concentration 60 $^{o}$Brix) was 1:2 soaking at 60 $^{\circ}$C for 2 hr and drying at 70 $^{\circ}$C for 5 hr by solar drying cabinet

**Keywords:** Mulberries, Osmotic dehydration, Drying

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันผลหม่อนได้รับความนิยมรับประทานเป็นผลสดมากขึ้นนอกเหนือจากการนำใบหม่อนไปใช้ประโยชน์เพื่อการเลี้ยงไหมเพียงอย่างเดียว โดยสายพันธุ์หม่อนที่นิยมปลูกในประเทศไทยเพื่อนำมารับประทานสด ได้แก่ สายพันธุ์เชียงใหม่ สายพันธุ์บุรีรัมย์60 เป็นต้น เนื่องจากในผลหม่อนสดมีคุณค่าทางโภชนาการสูงอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารกลุ่มโพลีฟีนอล และ กลุ่มแอนโธไซนานินที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ผู้บริโภคหันมาสนใจรับประทานเป็นอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น (Qinqin et al., 2017) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากธรรมชาติของผลหม่อนสดมีช่วงของฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวที่สั้นและมีปริมาณน้ำในอาหารที่สูงทำให้ผลหม่อนสดจึงมีอายุการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวที่สั้น โดยสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นเพียงไม่กี่วัน หากต้องการเก็บรักษาให้นานขึ้นต้องเก็บรักษาด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งแต่มีข้อเสียคือทำให้เนื้อสัมผัสของผลหม่อนเกิดเการเสื่อมเสียคุณภาพภายหลังการทำละลายเนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งในกระบวนการแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งหรือการดึงน้ำออกเป็นหนึ่งในวิธีการถนอมอาหารที่ได้รับความนิยมสำหรับกระบวนการแปรรูปและการยืดอายุการเก็บรักษาโดยการลดปริมาณความชื้นของอาหาร ซึ่งการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพที่ดีต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้จากการทำแห้ง เช่น คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส รูปทรง เป็นต้น การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสเป็นการแปรรูปอาหารที่นิยมทำในวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมาก วิธีการนี้เป็นวิธีการลดปริมาณน้ำในผักและผลไม้ที่ไม่รุนแรงจึงทำให้ไม่เกิดการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งมากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซีสที่เหมาะสมในการผลิตหม่อนแช่อิ่มอบแห้งจากผลหม่อนสดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสำหรับการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลหม่อนและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อนสดที่เหมาะสมในการผลิตผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง
2.2 เพื่อศึกษาสภาวะการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซีสที่เหมาะสมในการผลิตหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง

## 3. ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ แบ่งขอบเขตการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ 1) การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลหม่อนผลหม่อนสดที่มีระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ ผลหม่อนกึ่งสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 2 เป็นผลหม่อนสีชมพูถึงแดง) ผลหม่อนสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 3 เป็นผลหม่อนสีแดงถึงสีม่วง) ผลหม่อนสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 เป็นผลหม่อนสีม่วงเข้ม) และ 2) การศึกษาสภาวะการออสโมซิสที่เหมาะสมในการผลิตผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

## 4. วิธีการดำเนินการวิจัย

### 4.1 การศึกษาระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อนสดที่เหมาะสมในการผลิตผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง

นำผลหม่อนสดสายพันธุ์เชียงใหม่ที่ได้จากกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกผลหม่อนบริเวณพื้นที่ ตำบลขุนทะเล อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานีทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ ผลหม่อนกึ่งสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 2 เป็นผลหม่อนสีชมพูถึงแดง) ผลหม่อนสุก (ระยะการเจริญเติบโตที่ 3 เป็นผลหม่อนสีแดงถึงสีม่วง) ผลหม่อนสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 เป็นผลหม่อนสีม่วงเข้ม) มาล้างทำความสะอาดและคัดแยกเอาผลที่เน่าเสียออกไป สุ่มตัวอย่างผลหม่อนสด มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

**4.1.1 การเตรียมตัวอย่างสารสกัดสำหรับการวิเคราะห์**

ชั่งตัวอย่างผลหม่อน 30 กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ทำการสกัดด้วยเครื่องเขย่าไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนของของเหลวที่กรองไประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซียลเซียส จนตัวทำละลายระเหยหมด เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อทำการทดสอบต่อไป

**4.1.2 การหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน (ด้วยวิธี Singleton et al., 2005)**

ชั่งตัวอย่างผลหม่อน 10 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ บัฟเฟอร์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน (pH 4.5) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ บัฟเฟอร์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน (pH 1.0) ตั้งสารละลายตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer โดยใช้ตัวน้ำกลั่นเป็นสารละลายเปรียบเทียบ คำนวณหาค่าปริมาณสาร แอนโทไซยานิน ตามสมการ

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(A \times MW \times 1000 \times DF)}{\varepsilon \times L}$$

เมื่อ A คือ $(A_{520} - A_{700})_{pH=1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH=4.5}$

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucohide (Cyd-3-glu) = 449.2 g/mol

DF คือ dilution factor = 5

$\varepsilon$ คือ molar extinction coefficient for Cyd-3-glu = 26900 $L \times mol^{-1} \times cm^{-1}$

L คือ ความกว้างของ cuvette (1 cm)

**4.1.3 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Tsai et al., 2005)**

นำสารสกัดผลหม่อนสดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมรวมกับ Folin Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Sodium carbonate ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดนาน 1 ชั่วโมง เขย่าเป็นช่วง ๆ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 เป็นชุดควบคุม คำนวณสารประกอลฟีนอลทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตราฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร อ้างอิงจากกราฟมาตรฐานของ gallic acid รายงานผลเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมสมมูลกรดแกลลิก (mg/g Gallic acid equivalent, GAE)

**4.1.4 การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DDPH method (ดัดแปลงจาก Tsai et al., 2005)**

เตรียมสารละลายมาตรฐาน BHA stock solution ในสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำสารสกัดผลหม่อนสดปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 60 µM ในสารละลายเมทานอล ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 เป็น Blank และแทนสารสกัดในชุดควบคุม คำนวณหาค่าร้อยละของฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระตามสมการ

$$\text{\% DPPH Inhibition} = \frac{[(Ac - As) \times 100]}{Ac}$$

เมื่อ Ac คือ absorbance of control

As คือ absorbance of sample

**4.1.5 ค่าสี**

สุ่มตัวอย่างผลหม่อนมาวัดค่าความสว่าง ($L^*$) ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter, CR-400 Chroma Meter, Germany)

**4.2 การศึกษาสภาวะการออสโมซิสที่เหมาะสมในการผลิตผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง**

**4.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัปและระยะเวลาในการแช่ต่อคุณภาพของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง**

นำผลหม่อนสดระยะการเจริญเติบโตที่ 4 (ผลหม่อนสุกเต็มที่) มาทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและระยะเวลาในการแช่ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง โดยกำหนดความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ซูโครสไซรัปที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 50, 60 และ 70 $^{o}$Brix และนำผลหม่อนสดมาแช่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง โดยมีอัตราส่วนผลหม่อนต่อสารละลายซูโครสที่อัตราส่วน 1:2 และสุ่มตัวอย่างเพื่อชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น โดยก่อนการสุ่มตัวอย่างนำตัวอย่างมาล้างน้ำตาลส่วนเกินที่ผิวออกด้วยน้ำอุ่น โดยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที วางผึ่งบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที ซับให้แห้งด้วยกระดาษ สุ่มตัวอย่างผลหม่อนหลังการออสโมซิส มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

4.2.1.1 ปริมาณความชื้น (ด้วยวิธี AOAC, 1990)

4.2.1.2 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss, WL)

คำนวณได้จาก WL (เปอร์เซ็นต์) = $$\frac{\left[Wi\left(\frac{Xi}{100}\right) - Wf(Xf/100)\right] \times 100}{Wi}$$

4.2.1.3 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain, SG)

คำนวณได้จาก SG (เปอร์เซ็นต์) = $$\frac{[(Wf(100 - Xf)/\ 100\ ) - Wi(100 - Xi)/\ 100] \times 100\ ]}{Wi}$$

เมื่อ $W_i$ คือ น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม

$W_f$ คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

$X_i$ คือ ปริมาณความชื้นตัวอย่างเริ่มต้น (กรัมของน้ำ / 100 กรัม ของน้ำหนักเริ่มต้น)

$X_f$ คือ ปริมาณความชื้นตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมของน้ำ / 100 กรัม ของน้ำหนักเริ่มต้น)

**4.2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง**

ศึกษาความชอบของผู้บริโภคทั่วไปต่อผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งแบบออสโมซีสจากข้อ 4.2.1 โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับคะแนน (9 point-Hedonic scale) (1 = ไม่ชอบอย่างยิ่ง และ 9 = ชอบอย่างยิ่ง) ในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม

**4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

ศึกษาปัจจัยทั้งหมดในการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan’s New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยการวางแผนการทดลอง Randomized Completely Block Design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan’s New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 5. ผลการทดลอง และอภิปรายผล

### 5.1 การศึกษาระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อนสดที่เหมาะสมในการผลิตผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านค่าสีของผลหม่อนสด พบว่า ระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อนสดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยผลหม่อนสุกเต็มที่จะมีลักษณะเป็นสีม่วงคล้ำเข้มทั้งผลจึงมีผลทำให้ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงลดลง แต่มีค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลหม่อนกึ่งสุก ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่สามารถสังเกตได้ เมื่อผลหม่อนสดเจริญเติบโตมากขึ้นจะเปลี่ยนจากสีชมพูถึงแดงเป็นสีม่วงเข้มตามลำดับ

**ตารางที่ 1** การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลหม่อนสดที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน

| ระยะการเจริญเติบโต | ผลหม่อนสด | ค่าสี | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ |
| ระยะการเจริญเติบโตที่ 2 ผลหม่อนกึ่งสุก เป็นผลหม่อนสีชมพูถึงแดง | | $29.99 \pm 1.39^{a}$ | $29.89 \pm 1.44^{a}$ | $10.11 \pm 2.83^{a}$ |
| ระยะการเจริญเติบโตที่ 3 ผลหม่อนสุก เป็นผลหม่อนสีแดงถึงสีม่วง | | $24.45 \pm 1.86^{b}$ | $16.23 \pm 2.85^{b}$ | $4.29 \pm 1.50^{b}$ |
| ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 ผลหม่อนสุกเต็มที่ เป็นผลหม่อนสีม่วงเข้ม | | $20.39 \pm 1.46^{c}$ | $4.12 \pm 1.32^{c}$ | $-2.21 \pm 0.48^{c}$ |

* ตัวอักษร (a, b,.) ที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีจากผลหม่อนสด พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อน ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรงควัตถุในผลหม่อนที่เปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้ให้สีของผลหม่อนเข้มขึ้นตามระยะการสุก เนื่องจากในระหว่างการสุกมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในผลหม่อนหลายอย่างเกิดขึ้น โดยในผลหม่อนสุกจะมีสารกลุ่มโพลิฟีนอล และกลุ่มแอนโทไซยานินสูง จึงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภัทรวรรณ และ อดิศักดิ์ (2556) ที่ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลหม่อนสายพันธุ์เชียงใหม่และบุรีรัมย์60 พบว่าระยะสีแดงและระยะสีดำของหม่อนมีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าระยะอื่น

**ตารางที่ 2** ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลหม่อนสดที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน 3 ระยะ

| ระยะการเจริญเติบโต | ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก ต่อกรัมตัวอย่าง) | ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระ (% DDPH Inhibition) |
|---|---|---|---|
| ระยะการเจริญเติบโตที่ 2 | $54.10 \pm 0.36^{c}$ | $2.17 \pm 0.16^{c}$ | $29.81 \pm 0.56^{c}$ |
| ระยะการเจริญเติบโตที่ 3 | $75.30 \pm 0.79^{b}$ | $4.51 \pm 0.08^{b}$ | $62.37 \pm 0.21^{b}$ |
| ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 | $80.87 \pm 0.15^{a}$ | $11.38 \pm 0.21^{a}$ | $78.65 \pm 1.48^{a}$ |

* ตัวอักษร (a, b,.) ที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p<0.05$)

**5.2 การศึกษาสภาวะการออสโมซิสที่เหมาะสมในการผลิตผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง**

**5.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัปและระยะเวลาในการแช่ต่อคุณภาพของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง**

ผลของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและระยะเวลาในการแช่ต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งของผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส และเวลาในการแช่อิ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากช่วงแรกของการออสโมซิสมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารภายในเซลล์ชิ้นผลหม่อนกับสารละลายซูโครสไซรัปที่อยู่ภายนอกอย่างมาก จึงเกิดเป็นแรงขับมากทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจากชิ้นผลหม่อนอย่างมากและรวดเร็ว แต่เมื่อระยะเวลาในการออสโมซิสนานขึ้นจะเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่ออกมานอกรอบชิ้นผลหม่อนมากขึ้น สารละลายออสโมติกจึงมีความเข้มข้นลดลงตามเวลาของการออสโมซีสที่เพิ่มขึ้น เกิดเป็นแรงขับน้อยลงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อยและช้าลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการออสโมซิสของชิ้นแคนตาลูปโดย พิสุทธิ์ หนักแน่น (2555) รายงานว่าปริมาณของแข็งและปริมาณน้ำที่สูญเสียจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการออสโมซิส (3 ชั่วโมงแรก) และหลังจากนั้นการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนถึงจุดสมดุล (เวลา 24 ชั่วโมง)

**ตารางที่ 3** ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งที่ระดับความเข้มข้นของซูโครสไซรัปและระยะเวลาในการแช่แตกต่างกัน

| ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง) | ความเข้มข้นของน้ำตาล ($^{o}$Brix) | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) | ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (ร้อยละ) | ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 50 | $66.20 \pm 1.90^{a}$ | $18.85 \pm 4.55^{cd}$ | $9.73 \pm 0.25^{b}$ |
| | 60 | $62.63 \pm 1.02^{b}$ | $24.76 \pm 1.20^{ab}$ | $10.00 \pm 0.40^{b}$ |
| | 70 | $59.24 \pm 1.08^{c}$ | $19.98 \pm 3.09^{bc}$ | $14.04 \pm 0.57^{a}$ |
| 4 | 50 | $66.24 \pm 1.22^{a}$ | $8.11 \pm 3.12^{e}$ | $13.36 \pm 0.51^{a}$ |
| | 60 | $62.88 \pm 0.89^{b}$ | $14.84 \pm 2.63^{d}$ | $13.52 \pm 0.24^{a}$ |
| | 70 | $55.22 \pm 0.67^{t}$ | $27.13 \pm 1.64^{a}$ | $13.54 \pm 0.22^{a}$ |
| 6 | 50 | $65.74 \pm 1.10^{a}$ | $8.46 \pm 1.72^{e}$ | $13.65 \pm 0.23^{a}$ |
| | 60 | $65.41 \pm 1.11^{a}$ | $8.86 \pm 2.73^{e}$ | $13.65 \pm 0.12^{a}$ |
| | 70 | $58.84 \pm 2.46^{c}$ | $21.49 \pm 3.28^{bc}$ | $13.76 \pm 0.37^{a}$ |

* ตัวอักษร (a, b,.) ที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p<0.05$)

**5.2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง**

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งถึงแม้ว่าการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 60 แช่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้รับความพึงพอใจจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดในเกือบทุกด้าน เนื่องจากผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งที่ได้ยังคงมีลักษณะที่ดี มีรสไม่หวานมากและเนื้อสัมผัสไม่เหนียวเกินไป และเลือกอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งผลหม่อนให้น้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา

คุณภาพของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีออสโมซีสไฮเดรชันของ ธัญนันท์ ฤทธิ์มณี (2560) พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลงและการแช่ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิในการอบแห้งสูงสามารถดึงน้ำออกจากชิ้นมะเฟืองได้มากกว่า นอกจากนี้การแช่อิ่มสามารถดึงน้ำออกได้เพียงบางส่วนเท่านั้นทำให้ความชื้นของผลหม่อนแช่อิ่มยังเหลืออยู่มากจึงไม่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นาน ดังนั้นหากต้องการเก็บได้นานขึ้นต้องอบให้แห้งจนมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 และเพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอันเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลซึ่งไม่ได้เกิดจากเอมไซม์จึงควรอบแห้งที่อุณหภูมิในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

**ตารางที่ 4** การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งที่ระดับความเข้มข้นของซูโครสไซรัปและระยะเวลาในการแช่แตกต่างกัน

| ระยะเวลาในการแช่ (ชั่วโมง) | ความเข้มข้นของน้ำตาล (ร้อยละ) | คะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัส | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | รสชาติ nc | เนื้อสัมผัส nc | กลิ่นรส nc | รสชาติ nc | ความชอบโดยรวม nc |
| 2 | 50 | 7.03 ± 0.87 | 7.12 ± 0.76 | 7.27 ± 0.82 | 7.65 ± 0.75 | 7.30 ± 1.01 |
| | 60 | 7.25 ± 0.59 | 7.31 ± 1.00 | 7.74 ± 0.87 | 7.54 ± 1.01 | 7.66 ± 0.79 |
| | 70 | 7.40 ± 0.50 | 7.80 ± 0.89 | 7.83 ± 0.53 | 7.73 ± 0.74 | 8.03 ± 0.56 |
| 4 | 50 | 6.72 ± 0.64 | 6.69 ± 0.57 | 6.21 ± 0.71 | 6.56 ± 0.78 | 6.80 ± 0.98 |
| | 60 | 6.83 ± 1.04 | 6.30 ± 0.90 | 6.55 ± 1.06 | 6.70 ± 1.03 | 6.74 ± 1.04 |
| | 70 | 6.40 ± 0.64 | 6.53 ± 0.78 | 6.60 ± 0.89 | 6.30 ± 0.79 | 6.30 ± 0.47 |
| 6 | 50 | 6.93 ± 0.72 | 6.80 ± 1.02 | 6.34 ± 0.87 | 6.55 ± 0.99 | 6.23 ± 1.01 |
| | 60 | 6.23 ± 0.89 | 6.40 ± 0.88 | 6.30 ± 0.71 | 6.34 ± 0.78 | 6.54 ± 0.64 |
| | 70 | 6.34 ± 0.70 | 6.36 ± 0.62 | 6.60 ± 0.76 | 6.20 ± 0.84 | 6.50 ± 0.81 |

* ตัวอักษร nc ในคอลัมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

## 6. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณภาพของผลหม่อนสด พบว่า ปริมาณสารแอนโทไซยานิน สารประกอบฟินอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะการสุก ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสีของผลหม่อนที่มีสีเข้มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของผลหม่อน ดังนั้นผลหม่อนสุกเต็มที่ (ระยะการเจริญเติบโตที่ 4 เป็นผลหม่อนสีม่วงเข้ม) จึงเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในการเพิ่มมูลค่าโดยการผลิตเป็นผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้ง และสภาวะที่เหมาะสมในการทำแช่อิ่มอบแห้งผลหม่อนคือผลิตภัณฑ์ผลหม่อนแช่อิ่มอบแห้งที่อัตราการแช่ผลหม่อนสดต่อสารละลายซูโครสเท่ากับ 1:2 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 60 แช่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผู้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

## 8. เอกสารอ้างอิง

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). **เคมีอาหาร.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ภัทรวรรณ เกตุเทียน และ อดิศักดิ์ จูมวงษ์. (2556). องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของหม่อนพันธุ์

เชียงใหม่และพันธุ์บุรีรัมย์60. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,** 44 (3), 249-251.

พิสุทธิ หนักแน่น. (2555). **รายงานการวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง.** คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมการเกษตร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ธัญนันท์ ฤทธิ์มณี. (2560). คุณภาพและพฤติกรรมการอบแห้งของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 11 (1), 148-159.

AOAC. (1990). **Official methods of analysis: Association of official analytical chemists**. Washington DC.

Qinqin, C., Zhaolu, L., Jinfeng, B., Linyan, Z., Jianyong, Y., & Xinye, W. (2017). Effect of hybrid methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. **Journal of Food Science and Technology.** 80: 178-184.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**. 299: 152-178.

Tsai, T.H., Tsai, P.J. and Ho, S.C. (2005). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Several Commonly Species. **Journal of Food Science.** 70(1): 93-97.