

คุณภาพและพฤติกรรมการอบแห้งของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน

Quality and Drying Behavior of Dried Star Fruits by Osmotic Dehydration Method

ธัญนันท์ ฤทธิมนี

Thanyanun Ritmanee

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง (2) เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง และ (3) เพื่อศึกษารูปแบบ (model) ของอัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง โดยทำการออสโมซิสมะเฟืองด้วยสารละลายซูโครสเข้มข้น 40, 50 และ 60° Brix จากนั้นนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial in CRD พบว่า สมบัติทางกายภาพของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งนั้น ค่า L^* (ค่าความสว่าง) และ a^* (ค่าความเป็นสีแดง) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) และค่าความแน่นเนื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ส่วนสมบัติทางเคมีของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งนั้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ค่าความเป็นกรดค่าและค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) แต่ค่าความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้านสี กลิ่น ความหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับอยู่ในเกณฑ์ระดับชอบปานกลาง ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส ในระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครสทั้ง 3 ระดับได้คะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด ส่วนอัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง พบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนสมการที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้วยลมร้อนคือ Handerson and Pabis's model โดยมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9489-0.9886 และค่า RMSE อยู่ที่ 0.1197-0.4781

คำสำคัญ: มะเฟือง, ออสโมติกดีไฮเดรชัน, อัตราการอบแห้ง

Abstract

This research was experimental work. The purposes of this research were as follows: (1) to study physical and chemical qualities of dried star fruits under the osmotic dehydration technique (2) to investigate sensory evaluation of dried star fruits by osmotic dehydration, and (3) to elucidate the appropriate model to explain the drying kinetics of dried star fruits under osmotic dehydration. Sucrose was used as aqueous solution at different concentrations ranging from 40, 50 to 60° Brix. Star fruits were dried by using drying technique under 50, 60 and 70°C. The experiment was

carried out in triplicate using 3x3 Factorial in CRD. The results demonstrated that some parameters elementary to the physical properties of dried star fruits such as the lightness (L^*) value and red color (a^*) value were not significantly different ($P>0.05$) among the treatments. The yellow color (b^*) value and the firmness of dried star fruits were, on the other hand, were significantly affected by sucrose concentration and drying temperature ($P\leq 0.05$). Considering the chemical properties of dried star fruits, except for moisture contents, all other characteristics such as water activity, total soluble solids, reducing sugar, pH, and titratable acidity were influenced by sucrose concentrations and temperature regimes ($P\leq 0.05$). The most satisfying dried star fruits, voted by the panelists through the sensory evaluation test, were the products made under the 70°C of all levels of sucrose concentrations. Drying kinetics was also studied to develop the model most fitted to the drying process of star fruits. The result showed that the Handerson and Pabis's model could be best suited as it described perfectly the change of moisture content against times in star fruits under the studied osmotic dehydration process.

Keywords: star fruit, osmotic dehydration, drying kinetic



บทนำ

ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นการแปรรูปผลไม้เพื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน โดยไม่เกิดการเน่าเสียและขึ้นรา และช่วยแก้ปัญหาผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมากเกินความต้องการในการบริโภคผลสด (สายสวาทกุลวัฒนาพร และมาลี หนึ่งน้ำใจ, 2549) เช่น มะม่วง มะละกอ ลิ้นจี่ และมะเฟือง เป็นต้น การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งอาศัยหลักการของการออสโมซิส ทำให้น้ำตาลในรูปของน้ำเชื่อมค่อยๆ ซึมเข้าไปในเนื้อของผลไม้ ความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อปริมาณการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส และยังส่งผลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตีในผลิตภัณฑ์ โดยความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิสที่ใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ช่วงร้อยละ 30 ถึง 70 แตกต่างกันตามชนิดผลไม้ (นันทวัน เทอดไทย, 2551) แต่ในการออสโมซิสผลไม้ไม่ควรใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 70 โดยมวลต่อปริมาตร เนื่องจากสารละลายจะมีความหนืดสูงเกินไปทำให้การถ่ายเทมวลสารลดลง (คณิตตา พัฒนาภา, 2553) จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนเพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ โดยการใช้อุณหภูมิในช่วง 55 ถึง 70 องศาเซลเซียส เพื่อการลดปริมาณน้ำภายในวัตถุดิบและป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งสามารถทำได้ทั้ง

ในระดับครัวเรือนเพราะเป็นวิธีการทำแห้งที่ง่ายและไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมระดับท้องถิ่นและระดับประเทศเพื่อการส่งออกผลไม้แปรรูปในรูปผลไม้แช่อิ่มหรือผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง (ลดาวัลย์ ขำชุบ และเสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล, 2554)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง
3. เพื่อศึกษารูปแบบ (model) ของอัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยัง ผิวหน้าของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ (boundary film) และถูกพัดพาออกไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่อากาศแห้งจะเข้ามาแทนที่ ทำให้

บริเวณผิวหน้าของอาหารจะมีความดันไอน้ำต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันสูงและค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่ไอน้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงคาปิลารี
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่าง ๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4. ความแตกต่างของความดันไอน้ำทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร (สิรินทัศน์ เลี่ยมแหลม, 2551)

กราฟอัตราการอบแห้ง

กราฟอัตราการอบแห้ง(drying rate curve)เป็นกราฟที่สร้างจากปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเครื่องอบแห้งที่สัมผัสกับอากาศร้อนโดยมี อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็ว และทิศทางลมไหลของอากาศร้อนผ่านผิวอบแห้งคงที่ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้ง (สิรินทัศน์ เลี่ยมแหลม, 2551; นักสิทธิปัญญาใหญ่, 2546)

พฤติกรรมการอบแห้ง

การอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งของวัสดุเกษตรนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้ง โดยสมการที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งของวัสดุเกษตรนั้นจะอยู่ในรูปของสมการที่เรียกว่า logarithmic model หรือที่เรียกกันว่าเป็นสมการการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical Drying Equation) ซึ่งเป็นรูปแบบผลเฉลยอย่างง่ายของ สมการการแพร่กระจายของ Frick (Sogi, et al., 2003) ซึ่งมีรูปแบบสมการคือ

$$M_R = \frac{(M - M_c)}{(M_0 - M_c)} = \exp(-kt) \quad (1)$$

เมื่อ M_R คือ อัตราส่วนความชื้น (ไม่มีหน่วย)

M คือ ค่าความชื้นของวัสดุ (%db)

M_c คือ ความชื้นสมดุล (%db)

M_0 คือ ค่าความชื้นเริ่มต้น (%db)

k คือ ค่า drying rate constant (h^{-1})

t คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

ถึงแม้ว่า logarithmic model ในสมการ (1) นั้นจะสามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้งของวัสดุเกษตรได้หลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามพบว่า พฤติกรรมการอบแห้งของวัสดุเกษตรอีกหลายชนิดที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการนี้ แต่สามารถอธิบายได้ดีโดยใช้ Page's model (เทวรัตน์ ทิพย์มิล และสมยศ เชิญอักษร, 2552; Kaleemullah and Kailappan, 2006)

$$M_R = \exp(-kt^n) \quad (2)$$

เมื่อ n คือ เลขยกกำลัง (ไม่มีหน่วย)

จากสมการ (1) และ (2) จะพบว่าค่าความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญในการสร้างสมการจลนศาสตร์การอบแห้ง

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นของวัสดุเกษตรที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาอบแห้งในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล (empirical equation) เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไม่ซับซ้อนและสามารถใช้ทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตัวอย่างต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีภายใต้สภาวะเงื่อนไขการอบแห้งนั้น ๆ (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) และสมการอบแห้งแบบเอมพิริคัลดังแสดงในตารางที่ 1 นี้ไม่ขึ้นกับลักษณะเฉพาะของวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการอบแห้ง เช่น รูปทรงทางเรขาคณิต, ความเป็นรูพรุน เป็นต้น (อัจฉรา แซ่โค้ว และคณะ, 2556)

ตาราง 1

สมการอบแห้งทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัลที่ใช้ในการศึกษาอัตราการอบแห้งต่าง ๆ (Guiné, 2010)

Model name	Equation
Newton	$MR = \exp(-kt)$ (3)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$ (4)
Handerson and Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$ (5)
Logarithmic	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$ (6)
Two-term	$MR = a \cdot \exp(-k_0 t) + b \cdot \exp(-k_1 t)$ (7)
Two-term exponential	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$ (8)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$ (9)
Vega-Lemus	$MR = (a + kt)^2$ (10)

หมายเหตุ: t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง มีหน่วยเป็นนาที k , n , a และ b คือ ค่าคงที่ใด ๆ ซึ่งสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (non-linear regression analysis)

กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการนำมะเฟืองมาเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร และเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้ยาวนาน โดยการแปรรูปด้วยการแช่แข็งหรืออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จากนั้นนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อีกทั้งมีการศึกษาคุณภาพและอัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่แข็งและอบแห้ง

สมมติฐานการวิจัย

การทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะเฟืองแช่แข็งและอบแห้ง สามารถดำเนินการได้อย่างเหมาะสมมากที่สุดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมมะเฟือง

ใช้ผลมะเฟือง (*averrhoa carambola* L.) พันธุ์ได้หัววันที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 8-9°Brix มาหั่นเป็นแว่น ๆ ความหนา 1.5 เซนติเมตร แล้วนำมาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% เป็นเวลา 30 นาที

จากนั้นทำการออสโมซิสมะเฟืองโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 40, 50 และ 60 °Brix โดยใช้อัตราส่วนของมะเฟืองต่อสารละลายซูโครสเป็น 1 : 1.5 (มวล : ปริมาตร)

2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะเฟืองแช่แข็งและอบแห้ง

นำมะเฟืองที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายซูโครสมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray dryer : Model 160x180x200, Navaloy, Thailand) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง นำมะเฟืองแช่แข็งและอบแห้งที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

2.1 สมบัติทางกายภาพของมะเฟืองแช่แข็งและอบแห้ง

(1) ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง), a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ด้วยเครื่องมือ Color-meter (Color-meter: CR-300, Minolta, Japan)

(2) ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyzer (Texture analyzer: TA-XT Plus, Charpa Techcenter, UK)

2.2 สมบัติทางเคมีของมะเฟืองแช่แข็งและอบแห้ง

(1) ความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter (pH meter : 510, Eutech Instruments, Singapore)

(2) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (James, 1995)

(3) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

(4) ค่า water activity (a_w) ด้วยเครื่อง Water activity meter (Aqua Lab model series 3, Decagon Device Inc., USA)

(5) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) ด้วยเครื่อง hand refractometer (PAL- α , Atago, Japan)

(6) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA) (AOAC, 2000)

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ 3x3 factorial in CRD คือความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 3 ระดับ ได้แก่ 40, 50 และ 60 °Brix และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำของขึ้นมะเฟือง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS

2.3 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด) (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545) โดยให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น ความหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทำการทดสอบกับผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

3. การศึกษาอัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่เยือกอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาศึกษาหาอัตราการอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer: Model 160x180x200, Navaloy, Thailand) โดยสุ่มชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้น ทุก ๆ 10 นาที ของ 1 ชั่วโมงแรก จากนั้นทำการสุ่มทุก 30 นาที จนน้ำหนักเริ่มคงที่ นำมาวิเคราะห์ค่าคงที่การทำแห้งสร้างกราฟและสมการจากผลการทดลอง โดยแสดงในค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio--MR) ซึ่งสามารถเขียนดังรูปสมการที่ 1

สำหรับในการทดลองนี้จะดูความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นของมะเฟืองแช่เยือกอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาอบแห้งในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล (empirical equation) เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไม่ซับซ้อนและสามารถใช้ทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตัวอย่างต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีภายใต้สภาวะเงื่อนไขการอบแห้งนั้น ๆ (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) และสมการอบแห้งแบบเอมพิริคัล

ดังแสดงในตารางที่ 1 นี้ไม่ขึ้นกับลักษณะเฉพาะของวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการอบแห้ง เช่น รูปทรงทางเรขาคณิต, ความเป็นรูพรุน เป็นต้น (อัจฉรา แซ่โค้ว และคณะ, 2556)

จากการทดลองเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม มีดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนายของสมการ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ที่ได้จากการทำสมการ และค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error--RMSE) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (11)$$

เมื่อ	A_t	คือ ค่าที่เกิดขึ้นจริง
	F_t	คือ ค่าที่ได้จากสมการทำนาย
	N	คือ จำนวนทั้งหมด

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพของมะเฟืองแช่เยือกอบแห้ง

การวัดผลทางด้านกายภาพของมะเฟืองแช่เยือกอบแห้ง ได้แก่ ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง), a^* (ค่าความเป็นสีแดง), b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) และค่าความแน่นเนื้อ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า L^* และ a^* ของมะเฟืองแช่เยือกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ค่า b^* และค่าความแน่นเนื้อของมะเฟืองแช่เยือกอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่า L^* แสดงถึงค่าความสว่าง และค่า b^* แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลืองของมะเฟืองแช่เยือกอบแห้ง มีค่าลดลงเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมะเฟืองมีความแห้งสูง

การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์บางชนิดได้ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงกลีณรสชาติของการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสของจีนแอปเปิลที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Fito et al., 1999) อีกทั้ง

การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีและ (P=0.05) (Mata et al., 1999)
เกิดการเปลี่ยนสีในชิ้นมะละกออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 2

สมบัติทางกายภาพของมะเฟืองแช่ร้อนแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นสารละลายซูโครส (°Brix)	ค่าสี			ความแน่นเนื้อ (กิโลกรัม)
		L* ^{ns} (ค่าความสว่าง)	a* ^{ns} (ค่าสีแดง)	b* (ค่าสีเหลือง)	
50	40	60.32±2.47	5.46±1.64	31.97 ^a ±2.38	14.73 ^{bc} ±8.69
	50	60.19±3.11	5.48±2.01	31.47 ^a ±0.53	13.01 ^c ±4.37
	60	59.99±3.79	8.03±1.75	30.11 ^{ab} ±1.66	10.41 ^c ±6.91
60	40	57.02±1.99	7.05±1.65	25.85 ^c ±1.19	13.83 ^{bc} ±7.73
	50	60.25±3.56	6.13±1.97	24.24 ^c ±2.49	14.57 ^{bc} ±12.02
	60	59.49±3.10	6.04±1.76	26.83 ^{bc} ±2.07	12.60 ^c ±7.89
70	40	57.64±2.23	5.65±0.58	25.16 ^c ±3.36	25.72 ^a ±7.12
	50	57.92±1.15	8.05±0.93	25.95 ^c ±1.37	16.41 ^{bc} ±9.69
	60	59.97±1.90	7.55±1.02	25.74 ^c ±0.81	22.54 ^{ab} ±13.97

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

2. สมบัติทางเคมีของมะเฟืองแช่ร้อนแห้ง

จากตารางที่ 3 แสดงสมบัติทางเคมีของมะเฟืองแช่ร้อนแห้ง พบว่า ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ค่าความเป็นกรดต่าง และค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) แต่ค่าความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ชิ้นมะเฟืองที่แช่ด้วยสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 40, 50 และ 60 °Brix นำไปอบแห้ง

ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 300 นาที พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a_w นั้นจะเห็นได้ว่าการแช่ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นสูง และใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง สามารถดึงน้ำออกจากชิ้นมะเฟืองได้มากกว่า ทำให้ได้ค่า a_w ของชิ้นมะเฟืองที่ต่ำโดยแปรผันตรงกับสมบัติทางกายภาพของมะเฟืองแช่ร้อนแห้ง ในด้านค่าความแน่นเนื้อที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิในการอบสูง จึงส่งผลให้ชิ้นมะเฟืองมีความแห้งสูง

ตาราง 3

สมบัติทางเคมีของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น สารละลาย ซูโครส (°Brix)	ความชื้น (% wet basis) ^{ns}	วอเตอร์ แอกติวิตี (a _w)	ปริมาณ ของแข็งที่ ละลายน้ำได้	ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	ความเป็น กรดต่าง (pH)	ปริมาณกรด ที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)
50	40	13.31±0.10	0.40 ^a ±0.01	12.26 ^c ±0.05	1.60 ^{cd} ±0.04	3.86 ^c ±0.05	1.30 ^d ±0.16
	50	13.97±1.80	0.38 ^b ±0.00	12.60 ^c ±0.10	1.21 ^c ±0.01	3.93 ^b ±0.05	1.85 ^{bc} ±0.16
	60	14.42±1.36	0.37 ^{bc} ±0.00	12.70 ^b ±0.00	1.53 ^d ±0.07	4.03 ^a ±0.05	1.39 ^d ±0.00
60	40	11.27±0.07	0.38 ^b ±0.00	12.50 ^d ±0.00	1.78 ^{ab} ±0.05	3.70 ^e ±0.00	1.58 ^{cd} ±0.16
	50	11.19±0.67	0.38 ^b ±0.00	12.60 ^c ±0.00	1.65 ^{bcd} ±0.03	3.70 ^e ±0.00	1.57 ^{cd} ±0.16
	60	11.80±0.08	0.37 ^{bc} ±0.00	12.60 ^c ±0.00	1.69 ^{bc} ±0.01	3.80 ^d ±0.00	1.40 ^d ±0.00
70	40	10.42±0.13	0.37 ^{bc} ±0.01	13.10 ^a ±0.00	1.60 ^{cd} ±0.00	3.60 ^f ±0.00	2.41 ^a ±0.32
	50	10.79±0.12	0.36 ^c ±0.00	13.10 ^a ±0.00	1.74 ^b ±0.03	3.70 ^e ±0.00	2.14 ^{ab} ±0.16
	60	10.47±0.67	0.34 ^d ±0.01	13.03 ^a ±0.05	1.89 ^a ±0.11	3.70 ^e ±0.00	1.48 ^d ±0.16

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

3. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้านสี กลิ่น ความหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลดังแสดง ในตารางที่ 4

จากผลการทดลอง พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับในด้านสี กลิ่น ความหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในเกณฑ์ระดับชอบปานกลาง โดยในด้านสี กลิ่น ความหวาน และเนื้อสัมผัสของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส ในระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครสทั้ง 3 ระดับ ได้คะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดโดยจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่สูงขึ้นให้คะแนนการยอมรับด้านสี

และกลิ่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากได้มะเฟืองที่มีสีเหลืองเข้ม ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับต่อสีของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้ง ในด้านความหวาน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครสที่เพิ่มขึ้นทำให้ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากขึ้น แต่ในด้านเนื้อสัมผัสหากใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง จะได้คะแนนการยอมรับลดลง เพราะชั้นมะเฟืองมีความแห้งสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล และพรนภา น้อยพันธ์ (2553) ทำการอบแห้งกล้วยน้ำว้า โดยพบว่าสภาวะการอบแห้งต่างกันมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิสูงมากและเวลานานมาก มีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อมากขึ้น โดยการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิสูงที่สุด (250 องศาเซลเซียส) มีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด

ตาราง 4

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะเฟืองแช่หมอบแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นสารละลาย ซูโครส (°Brix)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
		สี*	กลิ่น*	ความหวาน*	เนื้อสัมผัส*	ความชอบโดยรวม* ^{ns}
50	40	6.43±2.14 ^{abc}	5.57±1.52 ^{bc}	5.67±2.07 ^b	5.80±2.05 ^{abc}	6.37±1.65
	50	6.20±1.69 ^{bc}	6.00±1.20 ^{abc}	5.60±1.86 ^b	6.30±1.76 ^{ab}	6.60±1.65
	60	6.00±1.91 ^{bc}	5.83±1.14 ^{abc}	6.33±1.74 ^{ab}	6.73±1.99 ^a	6.77±1.97
60	40	6.13±1.52 ^{bc}	5.37±1.37 ^c	5.97±1.79 ^{ab}	5.67±1.90 ^{bc}	6.03±1.77
	50	6.57±1.90 ^c	5.93±1.11 ^{abc}	5.77±1.65 ^{ab}	5.53±1.81 ^{bc}	6.17±1.94
	60	6.67±1.64 ^{ab}	6.53±1.45 ^a	6.70±1.57 ^a	6.10±1.66 ^{abc}	6.80±1.54
70	40	7.33±1.98 ^a	6.37±1.12 ^a	5.47±1.40 ^b	5.33±1.70 ^{bc}	6.30±1.36
	50	6.77±1.96 ^{ab}	6.13±1.19 ^{ab}	6.13±1.77 ^{ab}	5.13±1.67 ^c	6.50±1.57
	60	7.03±1.86 ^{ab}	6.23±1.40 ^{ab}	6.67±1.53 ^a	5.97±1.62 ^{abc}	6.80±1.49

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

* คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด

4. การศึกษาอัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่หมอบแห้ง

จากกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดของมะเฟืองแช่หมอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสนั้น นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าคงที่ในการทำแห้ง (drying constant, k) พบว่า ข้อมูลที่ได้เป็นไปตามสมการของ Newton model ($MR = \exp(-kt)$), Page model ($MR = \exp(-kt^n)$), Handerson and Pabis ($MR = a \cdot \exp(-kt)$) และ Wang and Singh ($MR = 1 + at + bt^2$) โดยมีการแสดงค่าคงที่ (k) ของแต่ละสมการในแต่ละอุณหภูมิของการอบแห้งมะเฟืองแช่หมอบแห้งที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5-7

ในการศึกษารูปแบบโมเดลในการทำแห้งของมะเฟืองแช่หมอบแห้งนั้น ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า สมการของ Handerson and Pabis's model มีความเหมาะสมมากที่สุดในการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งมะเฟืองแช่หมอบแห้งด้วยลมร้อน โดยให้ค่า R^2 ที่สูงที่สุด ซึ่งมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9489-0.9886 และค่า RMSE อยู่ที่ 0.1197-0.4781 โดยพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจาก ค่า R^2 บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจควรมีค่าน้อย 0.75 และค่า (Root Mean Square Error --RMSE) บ่งบอกความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 20 (Aleksandar, et al., 2007)

ตาราง 5

ค่าคงที่ (k) ในการทำมะเฟืองแช่หมอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส

Model	Parameter	ความเข้มข้นสารละลายซูโครส		
		40°brix	50°brix	60°brix
Newton	k	0.0172	0.0188	0.0178
	R ²	0.9543	0.9364	0.9755
	RMSE	0.1408	0.1154	0.0626
Page	k	0.0004	0.0769	0.0056
	n	1.7418	0.7246	1.2274
	R ²	0.9445	0.9445	0.9787
	RMSE	0.1003	0.0473	0.0392
Handerson and Pabis	k	0.0180	0.0165	0.0184
	a	0.1964	0.3656	0.1175
	R ²	0.9686	0.9694	0.9840
	RMSE	0.4781	0.2124	0.4474
Wang and Singh	a	0.0098	0.0070	0.0090
	b	0.00002	0.00002	0.00002
	R ²	0.9383	0.8103	0.9638
	RMSE	0.1453	0.4240	0.0835

ตารางที่ 6

ค่าคงที่ (k) ในการทำมะเฟืองแช่หมอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส

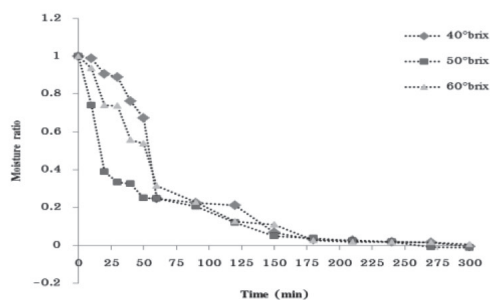
Model	Parameter	ความเข้มข้นสารละลายซูโครส		
		40°brix	50°brix	60°brix
Newton	k	0.0215	0.0234	0.0217
	R ²	0.9795	0.9876	0.8431
	RMSE	0.0442	0.0459	0.0909
Page	k	0.0162	0.0229	0.0616
	n	1.0678	1.0107	0.8148
	R ²	0.9754	0.9662	0.9034
	RMSE	0.0427	0.0444	0.0480
Handerson and Pabis	k	0.0207	0.0229	0.0181
	a	0.1550	0.0762	0.6388
	R ²	0.9824	0.9886	0.9489
	RMSE	0.3668	0.3829	0.1197

Model	Parameter	ความเข้มข้นสารละลายซูโครส		
		40°brix	50°brix	60°brix
Wang and Singh	a	0.0092	0.0087	0.0084
	b	0.00002	0.00002	0.00002
	R ²	0.8966	0.8713	0.8210
	RMSE	0.1674	0.2149	0.2837

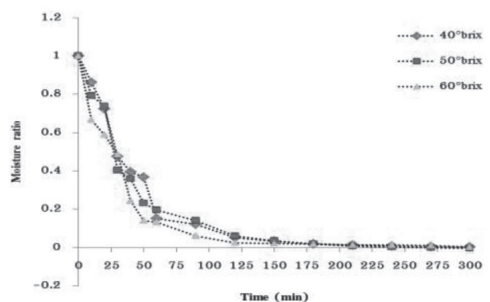
ตารางที่ 7

ค่าคงที่ (k) ในการทำมะเฟืองแช่หมอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส

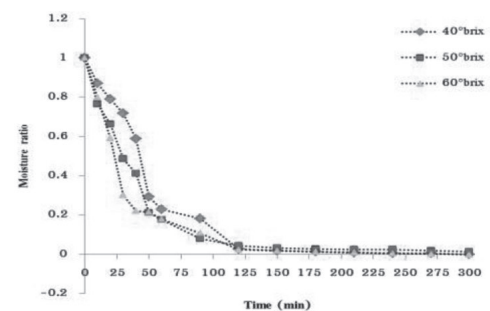
Model	Parameter	ความเข้มข้นสารละลายซูโครส		
		40°brix	50°brix	60°brix
Newton	k	0.0229	0.0184	0.0255
	R ²	0.9662	0.8501	0.9609
	RMSE	0.0888	0.0795	0.0598
Page	k	0.0071	0.0390	0.0338
	n	1.2324	0.8732	0.9570
	R ²	0.9681	0.8979	0.9660
	RMSE	0.0547	0.0422	0.0442
Handerson and Pabis	k	0.0231	0.0157	0.0235
	a	0.0397	0.4928	0.3002
	R ²	0.9664	0.9567	0.9718
	RMSE	0.4608	0.1871	0.2623
Wang and Singh	a	0.0098	0.0088	0.0085
	b	0.00002	0.00002	0.00002
	R ²	0.9294	0.8792	0.8134
	RMSE	0.1434	0.2074	0.2728



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 1 อัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่เชื่อมอบแห้งด้วยลมร้อนที่ (ก) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ข) 60 องศาเซลเซียส และ (ค) 70 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 1 แสดงอัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่เชื่อมอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดอยู่ที่ 300 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดจนน้ำหนักคงที่อยู่ที่ประมาณ 240, 210 และ 180 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งนั้นปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับการอบลมร้อนด้วยอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายซูโครสทั้ง 3 ระดับ และปริมาณความชื้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนคงที่ในช่วงท้ายของการอบแห้ง

เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าของอาหารจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าอาหารจึงแห้ง เรียกช่วงนี้ว่าอัตราการทำให้แห้งลดลง ช่วงนี้เป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำให้แห้งจนน้ำในอาหารไม่สามารถเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าได้อีกจนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง (สิรินทัศน์ เลี่ยมแหลม, 2551) การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้การถ่ายเทมวลในชั้นอาหารเร็วขึ้นเพราะทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น (สุธีรา เสาวภาคย์ และคณะ, 2557) จากงานวิจัยของลดาวลัย ช่างขุบ และเสาวณีย์เลิศวรสิริกุล (2554) นำเปลือกมะนาวแช่เชื่อมจนได้ร้อยละของแข็งที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 60, 65 และ 70 ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วงท้าย

การอภิปรายผล

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของมะเฟืองแช่เชื่อมอบแห้ง การใช้ความร้อนสูงทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลมีค่าสูงในช่วงแรกของการอบแห้งเป็นสาเหตุให้น้ำเกิดการระเหยออกจากผิวหน้าอาหารอย่างรวดเร็ว (Aghbashlo, et al., 2009) เนื่องจากภายในมะเฟืองมีความชื้นสูง ทำให้การถ่ายเทมวลของน้ำจากมะเฟืองออกจากผิวหน้าได้ง่ายและรวดเร็วเมื่อระยะเวลาผ่านไป ต่อมาเป็นช่วงการทำให้แห้งแบบลดลง (falling rate drying) ซึ่งการถ่ายเทความร้อนและมวลสารจะไม่จำกัดอยู่เฉพาะที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในด้วย (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) โดยการอบแห้งมะเฟืองแช่เชื่อมอบแห้งนั้นไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ ส่วนการอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของมะเฟืองแช่เชื่อมอบแห้งนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้ง โดยสมการที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุเกษตรนั้นจะอยู่ในรูปของสมการที่เรียกว่า logarithmic model ถึงแม้ว่า logarithmic model นั้นจะสามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุเกษตรได้หลายชนิด (เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร, 2552; Sogi, et al., 2003; Kaleemullash and Kailappan,

2006) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า พฤติกรรมการอบแห้งของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการนี้ แต่สามารถอธิบายได้เหมาะสมที่สุดโดยใช้ Handerson and Pabis's model

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยลงได้แต่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นมะเฟืองได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a_w นั้นจะเห็นได้ว่าการแช่ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงและใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง

สามารถดึงน้ำออกจากชิ้นมะเฟืองได้มากกว่า ทำให้ได้ค่า a_w มีค่าต่ำ จึงส่งผลต่อด้านความแน่นเนื้อที่ทำให้ชิ้นมะเฟืองมีความแห้งสูง ในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้านสี กลิ่น ความหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับอยู่ในเกณฑ์ระดับชอบปานกลาง

ส่วนการศึกษ้อัตราการอบแห้งของมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งนั้นสมการที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งมะเฟืองแช่อิ่มอบแห้งด้วยลมร้อนคือ Handerson and Pabis's model โดยมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9489-0.9886 และค่า RMSE อยู่ที่ 0.1197-0.4781



References

- Aghbashlo, M., Mohammad, M. H., & Arabhosseini, A. (2009). Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 1348-1355.
- Aleksandar, J., Juliana, G., Ljubinko, L., & Zoltan, Z. (2007). Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *Journal of Food Engineering*, 76(1), 47-51.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international* (18th ed.). New York: Author.
- Changchub, L. & Lertworasirikul, S. (2011). *Process development of osmotic dehydrated lemon albedo. Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Fito, P., Barat, J. M., & Chiralt, A. (1999). Structural change kinetics in osmotic dehydration of apples issue. *Journal of Food Engineering*, 24(4), 513-519.
- Guiné, R. P. F. (2010). Analysis of the drying kinetics of S. Bartolomeu pears for different drying systems. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(11), 1772-1783.
- James, C. S. (1995). *Analytical chemistry of foods*. Glasgow: Chapman & Hall.
- Kaleemullah, S. & Kailappan, R. (2006). Modeling of thin-layer drying kinetics of red chillies. *Journal of Food Engineering*, 76(1), 531-537.
- Kulwattanaporn, S. & NuengNamjai, M. (2006). Osmotic dehydrated fruits. *Journal of Science and Technology*, 94(1), 79-84. (in Thai)
- Liamleam, S. (2008). *Quality of sugaring figs (Ma Nod) dehydrated by tray dryer*. Master of Science Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)

- Mata, M., Perez, F. A., Garcia, H. S., & Tovar, B. (1999). *Sensory quality and composition of osmotic dehydrated pre-cut papaya slices*. Mexico: Institute Technology.
- Panyoyai, N. (2003). *Reduction of onion drying time by osmotic dehydration*. Master of Science Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)
- Pattanapa, K. (2010). *Process development of osmotically dehydrated Mandarin cv. (Sai-Namphaung)*. Master of Science Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Sae-Khow, A., Tirawanichakul, S., & Tirawanichakul, Y. (2013). Effect of drying with heat convection and heat radiation on drying kinetics and quality aspect of black pepper. *Burapha Science Journal*, 18(1), 166-180. (in Thai)
- Saowapark, S., Summawattana, T., & Artnarong, S. (2014). Effect of drying temperature on quality of dried garcinia (garcinia atroviridis). *Agricultural Science Journal*, 45(2), 37-40. (in Thai)
- Sogi, D. S., Shivhare, U. S., Garg, S. K., & Bawa, A. S. (2003). Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds. *Biosystems Engineering*, 84(3), 297-301.
- Sophonronnarit, S. (1997). *Drying of grain and food* (7th ed.). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology. (in Thai)
- Therdthai, N. (2008). *Agro-industrial process design*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Tipyavimol, T., & Chirnakorn, S. (2009). Equilibrium moisture content and drying kinetics of phlai (zingiber cassumunar roxb.). *Thai Society of Agricultural Engineering 2010*. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. (in Thai)
- Yuenyongputtakal, W., & Noyphan, P. (2010). Effects of pre-treatment and high temperature short time drying conditions on the quality of dried Banana (Musa sapientum). *Agricultural Science Journal*, 41(3), 229-232. (in Thai)
- Wiriacharee, P. (2002). *Sensory evaluation*. Chiang Mai: Chiang Mai University. (in Thai)

