

ผลของอุณหภูมิและรูปทรงต่อการทำแห้งมะเดื่อฝรั่งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

Effects of temperature and shape on drying of osmo-dehydrated fig

ดวงกมล สุมนาชยานันท์¹ นินนาท ชินประหัชฐ์¹ และ ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล¹

Duangkamon Sumanachayanun¹ Ninnart Chinprahast¹ and Chaleeda Borompichaichartkul¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและรูปทรงของมะเดื่อฝรั่งต่อการทำแห้งมะเดื่อฝรั่ง โดยแปรรูปอุณหภูมิร้อนที่ใช้ศึกษาที่ 55, 60, 70 และ 90 °C และแปรรูปทรงของมะเดื่อฝรั่งในระหว่างการทำแห้งเป็นแบบทั้งผล แบบชิ้นแบน และแบบผ่าครึ่ง ก่อนการทำแห้งแช่ผลสดในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 % (w/v) และซูโครส 60.0 % (w/v) จากนั้นทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเร็วลม 0.5 m/s พบว่า การแช่ผลไม้ตัวอย่างช่วยลดค่า water activity (a_w) และปริมาณความชื้น และช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ของตัวอย่าง อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น สำหรับรูปทรงที่แตกต่างกันพบว่า มะเดื่อฝรั่งแบบผ่าครึ่ง มีอัตราการทำแห้งสูงกว่าแบบชิ้นแบนและแบบทั้งผล ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดหรือพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ความหนาและเปลือกของตัวอย่าง ดังนั้นเวลาในการทำแห้งของตัวอย่างลดลงเมื่ออัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น

ABSTRACT

This research is aimed to study effects of temperature and shape of fig on drying. Whole, pressed and half fruits were dried at temperatures of 55, 60, 70 and 90 °C. Before starting hot-air drying, the fruits were soaked in osmotic solution of 1.0 % (w/v) sodium chloride and 60.0 % (w/v) sucrose. Then, fruits samples were dried with a tray dryer at air velocity of 0.5 m/s. Osmotic pretreatment resulted in reduction of water activity (a_w) and moisture content but increased TSS contents. Increasing of drying temperature could increase drying rate. Shape of fig influenced drying rate significantly. Drying rate of half fruits was higher than those of the pressed and whole fruits, respectively, due to size or surface area per unit volume, thickness and peel of the samples. Therefore, drying time was decreased with increasing of drying rate.

Key Words: drying, fig, osmotic dehydration, temperature, shape

e-mail address: Duangkamon.su@gmail.com

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

¹ Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330.

คำนำ

มะเดื่อฝรั่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ficus carica* L. เป็นพืชในวงศ์ Moraceae ปลูกมากในแถบเมดิเตอร์เรเนียน มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะอุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก วิตามินเอ วิตามินซี เป็นต้น มีเส้นใยอาหารมาก ปราศจากไขมันและโคเลสเตอรอล มีน้ำตาลและกรดอินทรีย์หลายชนิด และยังเป็นแหล่งที่ดีของสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ซึ่งมีสมบัติในการต้านออกซิเดชัน (Morton, 1987; Veberic *et al.*, 2008) ในประเทศไทยมีการทดลองและขยายพื้นที่เพาะปลูกมะเดื่อฝรั่ง จึงคาดว่าผลผลิตจะเพิ่มมากขึ้น และเนื่องจากผลสดมีอายุการเก็บสั้น จึงนิยมแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น มะเดื่อฝรั่งแห้ง เพื่อยืดอายุการเก็บ

การแช่แห้งเป็นการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) ซึ่งสามารถกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผลิตภัณฑ์ โดยแช่ตัวอย่างในสารละลายของน้ำตาลหรือเกลือ ซึ่งเป็นตัวถูกละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าในตัวอย่ง น้ำในตัวอย่งจะเคลื่อนที่ออก ส่วนตัวถูกละลายในสารละลายจะเคลื่อนที่เข้าไปในตัวอย่ง เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (Raoult-Wack, 1994) การทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ช่วยกำจัดน้ำบางส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่าการทำแห้ง จึงช่วยลดเวลาทำแห้งและทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียสีและกลิ่นรสเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส ป้องกันการเปลี่ยนสีจากการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์และปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังช่วยลดพลังงานความร้อนที่ใช้ทำแห้งเพื่อให้ความชื้นหรือปริมาณน้ำสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้ตามเป้าหมาย (Yadav and Singh, 2012) แต่เนื่องจากการแช่แห้งเพียงอย่างเดียวทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีปริมาณความชื้นหรือค่า a_w สูงอยู่ จึงจำเป็นต้องทำแห้งด้วยวิธีอื่นร่วมด้วย เช่น การทำแห้งด้วยลมร้อน

การทำแห้งด้วยลมร้อนช่วยลดปริมาณน้ำอิสระ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และลดปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์ จึงช่วยยืดอายุการเก็บ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสตามต้องการ และยังช่วยลดปริมาตรและน้ำหนัก จึงลดต้นทุนในการเก็บรักษาและขนส่ง (Mujumdar, 1997) ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง เช่น อุณหภูมิ ขนาดและรูปทรงของชิ้นตัวอย่าง ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง เป็นต้น Ertekin and Yaldiz (2004) พบว่า เมื่อความหนาของตัวอย่างมะเขือยาวลดลง เวลาในการทำแห้งจะลดลง เมื่ออุณหภูมิและความเร็วลมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันจะมีภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งต่างกัน ซึ่งภาวะในการทำแห้งที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าเริ่มมีผู้วิจัยหลายกลุ่มศึกษาการทำแห้งมะเดื่อฝรั่งด้วยลมร้อน (Piga *et al.*, 2004; Xanthopoulos *et al.*, 2010) แต่การศึกษาผลของอุณหภูมิและรูปทรงของตัวอย่างที่มีต่อการทำแห้งของมะเดื่อฝรั่งยังมีอยู่จำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่ออัตราการทำแห้งของมะเดื่อฝรั่ง เพื่อให้ได้กระบวนการทำแห้งที่รวดเร็ว ประหยัดเวลาและได้รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและกระบวนการแช่แห้งก่อนทำแห้ง

มะเดื่อฝรั่งจากสวนที่ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน พ.ศ. 2555 น้ำหนัก 60-70 กรัมต่อผล เส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 cm ล้างตัวอย่างด้วยน้ำเปล่า ลวกในน้ำเดือด สดส่วนตัวอย่างต่อน้ำเป็น 1:9 โดยน้ำหนัก นาน 1 นาที ทำให้เย็นในน้ำผสมน้ำแข็ง จากนั้นแช่ตัวอย่างในสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียม

คลอไรด์ 1.0 % (w/v) และซูโครส 60.0 % (w/v) สัดส่วนตัวอย่างต่อสารละลายเป็น 1:4 ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 °C) นาน 4 ชั่วโมง วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของมะเดื่อฝรั่งก่อนและหลังแช่อิ่ม โดยวัดปริมาณ TSS ด้วย hand refractometer (Atago รุ่น 2210-w06, Tokyo, Japan) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัด a_w (AquaLab รุ่น Series 3 TE, Pullman, Washington, U.S.A) และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2006) คำนวณค่าการสูญเสีย น้ำ (Water loss, WL) และค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (Solid gain, SG) โดยคำนวณดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$\text{Water loss (\%)} = \frac{(M_o \times X_{wo}) - (M_t \times X_{wt})}{M_o} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Solid gain (\%)} = \frac{(M_t \times X_{st}) - (M_o \times X_{so})}{M_o} \dots\dots\dots(2)$$

- เมื่อ M_o = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)
 M_t = น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการอบสโมคแล้ว (กรัม)
 X_{so} = องค์ประกอบเริ่มต้นของตัวอย่าง
 X_{st} = องค์ประกอบสุดท้ายหลังการอบสโมค
 X_{wo} = ปริมาณน้ำเริ่มต้นของตัวอย่าง (% โดยน้ำหนักเปียก)
 X_{wt} = ปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวอย่างหลังการอบสโมค (%โดยน้ำหนักเปียก)

ศึกษาผลของอุณหภูมิและรูปทรงต่อการทำแห้งมะเดื่อฝรั่งแช่อิ่ม

เตรียมตัวอย่างมะเดื่อฝรั่งแช่อิ่มตามวิธีข้างต้น จากนั้นทำให้ตัวอย่างมีลักษณะของรูปทรง 3 แบบ คือ แบบ ทั้งผล (ตัวอย่างควบคุม) แบบชิ้นแบน (กดตามแนวยาวให้มีความหนาประมาณ 1 cm หลังจากทำแห้งที่อุณหภูมิ ต่างๆ นาน 12 ชั่วโมง) และแบบผ่าครึ่งตามแนวยาว ทำแห้งตัวอย่างทุกแบบด้วย tray dryer (Yeo heng รุ่น HAL100S, Bangkok, Thailand) ที่ความเร็วลม 0.5 m/s โดยแปรอุณหภูมิเป็น 55, 60, 70 และ 90 °C บันทึก น้ำหนักของตัวอย่างมะเดื่อฝรั่งตลอดการทำแห้ง จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักคงที่ สร้างกราฟการทำแห้งระหว่าง อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) กับเวลาการทำแห้ง โดยคำนวณค่า MR ได้จากสมการที่ 3

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_o - M_e)} \dots\dots\dots(3)$$

- เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น
 M_t = ปริมาณความชื้นที่เวลาใด ๆ (โดยน้ำหนักแห้ง)
 M_o = ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (โดยน้ำหนักแห้ง)
 M_e = ปริมาณความชื้นสมดุล (โดยน้ำหนักแห้ง)

วัดค่า a_w และวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังทำแห้งตามวิธีข้างต้น

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติทางเคมีกายภาพของมะเดื่อฝรั่งหลังจากแช่อิ่ม

การแช่อิ่มผลไม้เป็นขั้นตอน pre-treatment ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายก่อนทำแห้งด้วยลมร้อน โดยแช่ ตัวอย่างในสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงกว่าในตัวอย่าง ความแตกต่างของแรงดัน

ออสโมติกระหว่างผลไม้และสารละลายจะเป็น driving force ช่วยกำจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อ (Raoult-Wack *et al.*, 1989)

Table 1 Physicochemical property of fresh and osmo-dehydrated fig fruit

Samples	Moisture content (% wet basis)	a_w	TSS (°Brix)	WL (%)	SG (%)
Fresh fig	86.44 ± 1.40	0.996 ± 0.002	14.8 ± 0.6	-	-
Osmo-dehydrated fig	80.61 ± 0.84	0.974 ± 0.009	16.4 ± 1.0	14.46 ± 1.93	0.82 ± 0.22

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีกายภาพของมะเดื่อฝรั่งสดและมะเดื่อฝรั่งแช่อิม (Table 1) พบว่า ตัวอย่างหลังแช่อิมนาน 4 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างสด ขณะที่ปริมาณ TSS มีค่าเพิ่มขึ้น ผลที่ได้เกิดจากความชื้นในตัวอย่างลดลงและปริมาณน้ำตาลในชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากการถ่ายโอนมวลของน้ำออกจากผลมะเดื่อและน้ำตาลจากสารละลายแช่อิมเข้าไปในเนื้อเยื่อของมะเดื่อ เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกในระบบ ที่ส่งผลให้น้ำแพร่ออกจากเนื้อเยื่อของผลไม้ แสดงให้เห็นถึงความสามารถของการแช่อิมที่ช่วยลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนทำแห้งและเวลาที่ใช้ทำแห้งได้ โดยที่ค่า WL และ SG มีค่าเป็น 14 และ 1% โดยประมาณ (Table 1) ซึ่งจะเห็นว่า WL เกิดขึ้นมากกว่า SG เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของซูโครส จึงเกิดการถ่ายโอนมวลของน้ำได้มากกว่าน้ำตาล

อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างมีปริมาณความชื้นลดลงเพียง 6% โดยประมาณ และมี TSS เพิ่มขึ้นประมาณ 2 °Brix นอกจากนี้พบว่าคุณสมบัติของสารละลายน้ำตาลและค่า TSS ของตัวอย่างมีความแตกต่างกันมาก อาจเนื่องมาจากการแช่อิมตัวอย่างทั้งผลโดยไม่เปลือกทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารได้เพียงเล็กน้อย เพราะเปลือกผลไม้เป็นตัวขัดขวางการถ่ายโอนมวลสาร García-Segovia *et al.* (2010) พบว่า เมื่อแช่อิมใบวุ้นนางจะเห็นแบบเปลือกออก จะทำให้ค่า WL สูงกว่าแบบมีเปลือก นอกจากนั้นขนาดของตัวอย่างอาจมีผลต่อการถ่ายโอนมวลสาร Falade *et al.* (2007) พบว่า การลดความหนาของแผ่นทำให้ค่า WL และ SG สูงขึ้น เนื่องจากการลดขนาดของตัวอย่างช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ส่งผลให้การถ่ายโอนมวลสารเกิดได้ดีขึ้น แต่เมื่อเปลือกออกและทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสอาจทำให้สูญเสียสารให้สี กลิ่นรส หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น anthocyanins และ phenolic compounds ไปด้วย (Chottanom *et al.*, 2012; Osorio *et al.*, 2007)

ผลของอุณหภูมิและรูปทรงต่อการทำแห้งมะเดื่อฝรั่งแช่อิม

อุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งและรูปทรงของตัวอย่างมีผลอย่างมากต่อกระบวนการทำแห้ง โดยอัตราการทำแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และรูปทรงของตัวอย่างที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการทำแห้งด้วยเช่นกัน Ganjyal *et al.* (2003) พบว่า ตัวอย่างละมุดที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และตัวอย่างที่หั่นเป็นแผ่นบางจะมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าตัวอย่างที่หั่นตามแนวยาวให้มีขนาด 1/4 และ 1/2 ของผล ตามลำดับ

Table 2 Effects of temperature and shape on a_w and moisture content of osmo-dehydrated fig fruit

Drying temperature (°C)	a_w			Moisture content (% wet basis)		
	Whole	Pressed	Half	Whole	Pressed	Half
55	0.490 ± 0.038	0.482 ± 0.001	0.455 ± 0.036	18.60 ± 1.70	17.98 ± 0.64	14.16 ± 0.98
60	0.488 ± 0.002	0.455 ± 0.003	0.436 ± 0.001	19.63 ± 0.88	18.10 ± 0.62	14.50 ± 0.45
70	0.353 ± 0.007	0.404 ± 0.003	0.324 ± 0.020	12.66 ± 1.34	14.37 ± 0.61	11.56 ± 0.21
90	0.347 ± 0.021	0.385 ± 0.003	0.320 ± 0.004	9.24 ± 0.52	10.66 ± 0.18	9.40 ± 0.09

จาก Table 2 พบว่า อุณหภูมิและรูปทรงของตัวอย่างในการทำแห้งมีผลต่อค่า a_w และปริมาณความชื้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำแห้ง ค่า a_w และปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่มีรูปทรงเดียวกันจะมีค่าลดลง เนื่องจากความร้อนเป็น driving force ที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อด้านในของตัวอย่างออกสู่ด้านนอกแล้วระเหยไป จึงส่งผลให้ตัวอย่างสูญเสียความชื้นไปได้มากที่อุณหภูมิสูง และทำให้ค่า a_w ของตัวอย่างมีค่าลดลง

นอกจากนั้น การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงยังทำให้อัตราการทำแห้งมีแนวโน้มสูงขึ้น สังเกตได้จากกราฟการทำแห้งที่มีความชันเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิทำแห้งสูงขึ้น (Figure 1a-1c) ผลที่ได้สอดคล้องกับ Ganjyal *et al.* (2003) ซึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งผลไม่เพิ่มขึ้น อัตราการทำแห้งจะสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูง จะสามารถกำจัดน้ำออกได้รวดเร็ว เนื่องจากมี driving force ของความร้อนและอากาศสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า

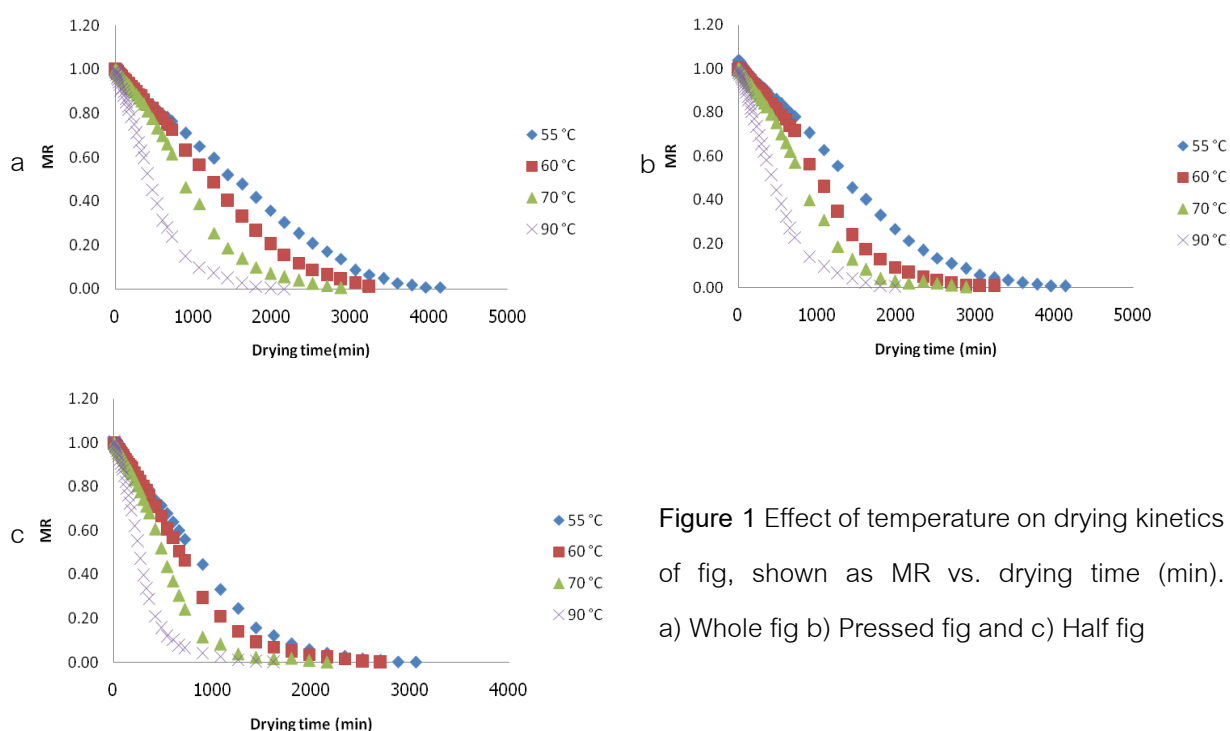


Figure 1 Effect of temperature on drying kinetics of fig, shown as MR vs. drying time (min).
a) Whole fig b) Pressed fig and c) Half fig

Table 3 Surface area per unit volume (cm^{-1}) of osmo-dehydrated fig fruit

Parameters	Whole	Pressed	Half
Surface area per unit volume	1.03 ± 0.09	2.02 ± 0.31	5.70 ± 2.03

เมื่อพิจารณาผลของรูปทรงของตัวอย่างต่อค่า a_w และปริมาณความชื้น (Table 2) พบว่า การลดขนาดของตัวอย่างทำให้ค่า a_w และปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่อุณหภูมิการทำแห้งเดียวกันมีค่าลดลง เนื่องจากการลดขนาดเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของการทำแห้ง (Table 3) ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนขณะทำแห้งได้ดีขึ้น ทำให้การกำจัดน้ำระหว่างการทำแห้งเกิดได้ดีขึ้น ค่า a_w และปริมาณความชื้นของตัวอย่างจึงมีแนวโน้มลดลง

จาก Figure 2a-2d พบว่ามะเดื่อฝรั่งแบบผ่าครึ่งจะมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าแบบชิ้นแบนและแบบทั้งผลตามลำดับ ทำให้เวลาการทำแห้งมีแนวโน้มลดลงด้วย เนื่องจากการลดขนาดหรือเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรช่วยให้การถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำเกิดได้ดีขึ้น น้ำจึงระเหยออกจากตัวอย่างได้เร็วขึ้น ตัวอย่างที่มีเปลือกหรือมีความหนามากกว่า จะมีอัตราการทำแห้งต่ำกว่า Xanthopoulos *et al.* (2010) พบว่า ผลไม้ที่ปอกเปลือกจะมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าผลไม้ทั้งผลที่ไม่ปอกเปลือก เนื่องจากเปลือกจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากตัวอย่าง ดังนั้นตัวอย่างแบบผ่าครึ่งซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและมีเปลือกเพียงบางส่วน จึงมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าตัวอย่างแบบชิ้นแบนที่มีเปลือกและตัวอย่างทั้งผลที่มีเปลือก ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ตัวอย่างที่มีรูปทรงต่างกันจะมีอัตราการทำแห้งแตกต่างกันน้อยลง อาจอธิบายได้ว่าน้ำสามารถระเหยออกจากตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เกิด case hardening ซึ่งขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้อัตราการทำแห้งลดลง (Xanthopoulos *et al.*, 2010)

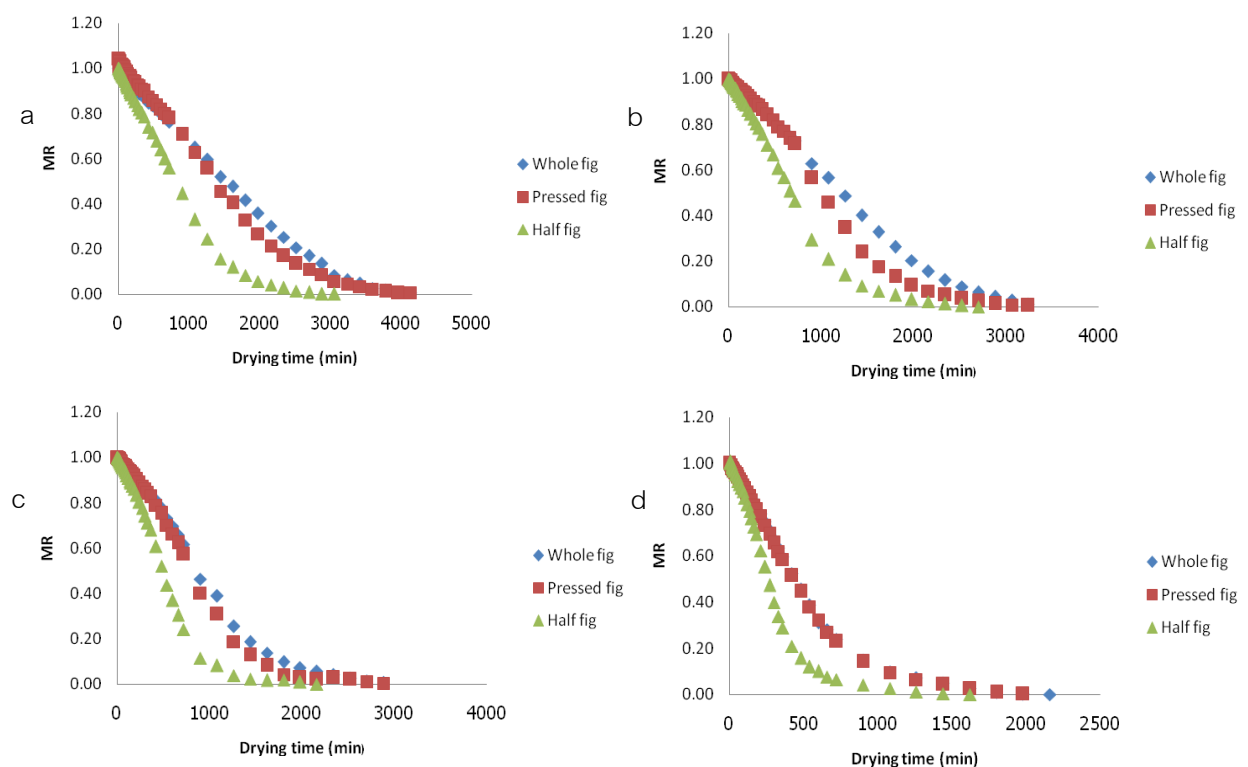


Figure 2 Effect of shape on drying kinetics of fig, shown as MR vs. drying time (min). a) 55 °C b) 60 °C c) 70 °C and d) 90 °C

เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ทำแห้งมะเดื่อฝรั่งทั้งสามแบบที่อุณหภูมิต่างกัน จนกระทั่งตัวอย่างมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% โดยน้ำหนักเปียก (Table 4) พบว่า อิทธิพลของอุณหภูมิต่อเวลาทำแห้งมีมากกว่าของตัวอย่าง โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เวลาที่ใช้ทำแห้งตัวอย่างที่มีรูปทรงเดียวกันจนมีปริมาณความชื้นตามเป้าหมาย มีค่าลดลงมากกว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงรูปทรงของตัวอย่าง

Table 4 Drying time of fig until the moisture content was less than 18% (wet basis)

Drying temperature (°C)	Drying time (h)		
	Whole	Pressed	Half
55	54	48	30
60	57	33	27
70	27	24	15
90	15	15	9

การเพิ่มอุณหภูมิหรือเปลี่ยนรูปทรงของตัวอย่างสามารถเพิ่มอัตราการทำแห้งหรือช่วยลดเวลาทำแห้งได้ แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เช่น ลักษณะทางประสาทสัมผัส สมบัติด้านเคมีกายภาพหรือการต้านออกซิเดชัน เป็นสิ่งที่พึงพิจารณาควบคู่ไปด้วย เช่น การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงหรือใช้เวลานานเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินซี หรือสารต้านออกซิเดชัน เช่น phenolic compounds ได้ (Piga *et al.*, 2004; Vega-Gálvez *et al.*, 2012) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ เพื่อเลือกภาวะการทำแห้งที่ดีที่สุด

สรุป

อุณหภูมิและรูปทรงมีผลต่อการทำแห้งมะเดื่อฝรั่ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า a_w ปริมาณความชื้นและเวลาทำแห้งลดลง การเปลี่ยนรูปทรงของตัวอย่างโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ส่งผลให้การถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำเกิดได้ดีขึ้น อัตราการทำแห้งจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม นอกจากผลต่ออัตราการทำแห้งแล้ว คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสิ่งพึงพิจารณาไปพร้อมกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพด้านต่างๆ ควบคู่กันไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2006. **Official Methods of Analysis**. 18th ed. AOAC International, Maryland.

Chottanom, P., R. Kongmanee, C. Manklang and S. Soponronnarit. 2012. Effect of osmotic treatment on drying kinetics and antioxidant properties of dried mulberry. **Drying Technology** 30: 80-87.

- Ertekin, C. and O. Yaldiz. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering** 63: 349–359.
- Falade, K. O., J.C. Igbeka and F.A. Ayanwuyi. 2007. Kinetic of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. **Journal of Food Engineering** 80: 979-985.
- García-Segovia, P., C. Mognetti, A. Andrés-Bello and J. Martínez-Monzó. 2010. Osmotic dehydration of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). **Journal of Food Engineering** 97: 154-160.
- Ganjyal, G.M., M.A. Hanna and D.S.K. Devadattam. 2003. Processing of sapota (sapodilla): drying. **Journal of Food Science** 68: 517-520.
- Morton, J.F. 1987. Fig, pp. 47-50. *In Fruits of Warm Climates*. Florida Flair Books, Florida.
- Mujumdar, A.S. 1997. Drying fundamentals, pp.7–30. *In* C.G.J. Baker, ed. **Industrial Drying of Foods**. Chapman & Hall, London.
- Osorio, C., M.S. Franco, M.P. Castaño, M.L. González-Miret, F.J. Heredia and A.L. Morales. 2007. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 8: 353–359.
- Piga, A., I. Pinna, K.B. Ozer, M. Agabbio and U. Aksoy. 2004. Hot air dehydration of fig (*Ficus carica* L.): Drying kinetics and quality loss. **International Journal of Food Science and Technology** 39: 793-799.
- Raoult-Wack, A.L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of food. **Trends in Food Science and Technology** 5: 255-260.
- Raoult-Wack, A.L., F. Lafont, G. Rios and S. Guilbert. 1989. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties, pp. 487-495. *In* A.S. Mujumdar and M. Roques, eds. **Drying'89**. Hemisphere, New York.
- Veberic, R., M. Colaric and F. Stampar. 2008. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. **Food Chemistry** 106: 153–157.
- Vega-Gálvez, A., K. Ah-Hen, M. Chacana, J. Vergara, J. Martínez-Monzó, P. García-Segovia, R. Lemus-Mondaca and K. Di Scala. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. **Food Chemistry**. 132: 51-59.
- Xanthopoulos, G., S. Yanniotis and Gr. Lambrinos. 2010. Study of the drying behavior in peeled and unpeeled whole figs. **Journal of Food Engineering** 97: 419-424.
- Yadav, A.K. and S.V. Singh. 2012. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology** DOI: 10.1007/s13197-012-0659-2.