

การพัฒนากระบวนการผลิตมะขามผงกรดแอสคอร์บิกสูงสำหรับกิจการสปา

Development of a Production Process of an Intact Ascorbic Acid Tamarind Powder for Spa Business

สุนทร สิบคำ¹ สุตปรารถนา พวงโรสง¹ แสงรุ่ง สีนวลใหญ่¹ และชัชชาติ จินดารักษ์²
Sunate Surbkar,¹ Sudprattana Puangthaisong,¹ Sangrung Seenuayai¹ and Chatcharee Jindarak²

Abstract

Spa treatments are always involved with herb and ornamental flora. Tamarind is kind of herbal plants which is good in skin nourishment. However, a process of a ready-to-use tamarind powder which is ease and convenient is still a concern to many plant producers. Therefore, the objective of this study was to investigate a drying process of tamarind powder by the partial freeze drying (lyophilization). Six levels of a carrier were studied namely; talcum, Rice flours, Maltodextrins, Pectin, Carboxymethyl cellulose (CMC) and Xanthan gum. A ratio of a selected carrier and tamarind juice at 1:2.0, 2.25, 2.5, 2.75 and 3.0 w/w were consequence carried out. A series of freezing temperatures and times was also investigated to find out the suitable freeze drying condition. Tamarind juice (*Tamarindus indica* L.) mixed with a selected carrier having approximately 10 mm. thickness were kept overnight in a deep freezer at -45°C and tested at chamber pressures of 80±10 Pa after steady state was reached. Results showed that talcum was the most suitable carrier having a ratio with tamarind juice not excess 1: 2.75 w/w. The freezing temperature and time steps should be 5 with a total of the free water removal phase and the desorption-only phase of 18 h, resulting the specific energy consumption per g dry matter of freeze-dried tamarind of 71.711 kJ and the production rate of 0.192 kg_{water} m⁻² h⁻¹. Qualities of freeze-dried tamarind were met with the Thai Community Product Standard (TCPS). The results of these experiments suggest that to dry tamarind juice in a freeze drying process, carrier needs to be added.

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์สปา มักมีส่วนผสมของพืชสมุนไพรและดอกไม้หอมนานาชนิด มะขามเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์ในการรักษาผิวพรรณ แต่การแปรรูปมะขามเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานโดยทำให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ผงยังคงเป็นการค้นหาของผู้ประกอบการ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทำแห้งมะขามผงแบบแช่เยือกแข็งบางส่วน โดยแปรค่าสารจับตัว 6 ชนิด ได้แก่ ทalcum แป้งข้าวเจ้า มอลโตเด็คซ์ตริน เพกติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม อัตราส่วนระหว่างสารจับตัวที่เลือกแล้วต่อเนื้อมะขาม 5 ส่วนผสม ได้แก่ 1:2.0, 2.25, 2.5, 2.75 และ 3.0 ระดับอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง 3 ชุด โดยใช้เนื้อมะขามเปรี้ยว (*Tamarindus indica* L.) ผสมสารจับตัวหนาประมาณ 10 มม. แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 45° นาน 24 ชั่วโมง และทดสอบที่ความดันห้องอบแห้ง 80±10 ในสภาวะคงที่ ผลชี้ว่า ทalcum เป็นสารจับตัวที่เหมาะสมในอัตราส่วนสารต่อเนื้อมะขามไม่เกิน 1 ต่อ 2.75 โดยน้ำหนัก ระดับอุณหภูมิและเวลาการอบแห้งที่เหมาะสมควรเป็น 5 ช่วง รวมระยะเวลาการอบแห้งขั้นต้นและขั้นที่สองเป็น 18 ชั่วโมง โดยมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่อกรัมมวลแห้งของมะขามผงที่ผลิตได้ 71.711 kJ และอัตราการผลิต 0.192 kg_{water} m² h⁻¹ มะขามผงที่ได้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) การศึกษาชี้ให้เห็นว่าการผลิตมะขามผงด้วยวิธีแช่เยือกแข็งจะต้องมีการผสมสารจับตัวก่อน

คำนำ

มะขามเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีอยู่สูง สามารถใช้ผสมกับสมุนไพรชนิดอื่น ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่การรักษาผิวพรรณการแปรรูปมะขามให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ผงซึ่งถือว่าเป็นวัตถุดิบทุติยภูมิ (Secondary raw material) เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ยืดอายุการเก็บรักษา น้ำหนักเบา และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องเก็บในที่อุณหภูมิต่ำจึงช่วยประหยัดพลังงาน กระบวนการผลิตมะขามผงทำได้หลายวิธี อาทิ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัด เชียงใหม่ 50290

¹ Dept. of Agric. and Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Nongham, Sansai, Chiangmai, 50290 Thailand

² หจก. ภูดิน เพียว เฮิร์บ เลขที่ 187 ม. 3 ถนน โชตนา ตำบล ดอนแก้ว อำเภอ แม่ริม จังหวัด เชียงใหม่ 50180

² Phudin Pear Hurb 187 Moo 3 ,Dongkaew, Maerim, Chiangmai, 50180 Thailand

drying) ซึ่งเป็นวิธีการรักษาสภาพของสาร โดยที่ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้เย็นจนแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสามสถานะ (Tripolepoint) แล้วให้ความร้อนหรือลดความดันลงทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นไอโดยการระเหิด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงยังคงมีคุณภาพใกล้เคียงกับของสด เนื่องจากการเสื่อมสลายจากความร้อนมีค่าน้อยมาก แต่เป็นวิธีที่มีต้นทุนค่อนข้างสูง

การทำแห้งแบบนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 แบบคือ การทำแห้งแบบเยือกแข็งสมบูรณ์ ซึ่งอาหารสดจะถูกทำให้แข็งภายในห้องทำแห้งสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งบางส่วน (Partial Freeze Drying) ซึ่งอาหารสดจะถูกทำให้แข็งภายนอกห้องทำแห้งสุญญากาศ ซึ่งจะใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าแบบแรก (เชาว์, 2544) สุจิตราและอังศุมาลี (2549) ได้พัฒนากระบวนการทำมะขามผงสำหรับกิจการสปาด้วยวิธีการอบแห้งแบบเยือกแข็งบางส่วน โดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินผสมกับเนื้อมะขามเปียกซึ่งมีวิตามินซี 27 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม เหลือวิตามินในมะขามผงเป็น 5 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม ดังนั้นหากหาแนวทางเพิ่มปริมาณวิตามินซีให้สูงขึ้น ก็จะเป็นการชดเชยด้านต้นทุนการผลิตจากกระบวนการผลิตแบบแช่เยือกแข็ง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากรรมวิธีการผลิตมะขามผงที่มีกรดแอสคอร์บิคสูงโดยวิธีการอบแห้งแบบเยือกแข็งบางส่วน โดยมุ่งเน้นศึกษากระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ยังคงคุณภาพใกล้เคียงกับของสด

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมเนื้อมะขามแช่แข็งและการตั้งสภาวะการอบแห้งแบบเยือกแข็ง

1. ผสมน้ำในเนื้อมะขามในอัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
2. คั้นเนื้อมะขามในข้อ 1. แล้วกรองด้วยผ้าขาวบางก็จะได้เนื้อมะขามเปียก
3. ผสมเนื้อมะขามเปียกกับสารจับตัวในอัตราส่วนที่ต้องการศึกษา
4. นำเนื้อมะขามเปียกที่ผสมแล้วเทใส่ภาชนะที่ได้น้ำหนักประมาณ 300 กรัม (ความหนาของชั้นมะขามเปียกมีค่าประมาณ 10 มม.) แล้วนำไปแช่ในตู้แช่แข็ง (ยี่ห้อ MY BIO รุ่น Dairei LTF80) ที่อุณหภูมิ -45 องศาเซลเซียส นานประมาณ 24 ชั่วโมง
5. นำภาชนะที่แช่แข็งแล้วเข้าเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งบางส่วน (ยี่ห้อ Heto รุ่น PowerDry PL3000, Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, United States) ซึ่งมีระดับความดันสุญญากาศในช่วงคงที่ 80 ± 10 Pa บั้มสุญญากาศ (ยี่ห้อ Welch รุ่น 8920) มีอัตราการไหล $2 - 5 \text{ m}^3/\text{hr}$ โดยมีระดับการตั้งอุณหภูมิและเวลาการอบแห้งแสดงในตารางที่ 1
6. นำภาชนะที่อบออกจากเครื่องอบ แล้วแกะมะขามที่แห้งออกจากภาชนะ
7. บดมะขามที่แกะออกจากภาชนะแล้วด้วยเครื่องบดสารเคมี แล้วบรรจุมะขามผงในถุงลามิเนต ซ้อนทับด้วยถุงสีด้า เพื่อป้องกันแสงแผ่เข้าไปในถุง

Table 1 Freezing temperature and time during the free water removal and desorption-only phases

Period	Number of step	Freezing Temp (°C)	Freezing Time (hr)
Free water removal phase	Step 1	0	4
	Step 2	-40	3
	Step 3	-20	3
Desorption-only phase	Step 4	20	6
	Step 5	20	6

2. การศึกษาสารจับตัวที่เหมาะสม

สารให้ความคงตัวที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ สตาร์ชและอนุพันธ์ ซีเอ็มซี เด็กซ์ตริน กัม เป็นต้น จะช่วยป้องกันการตกตะกอนหรือแยกชั้นของส่วนผสม จึงศึกษาสารจับตัว 6 ชนิดคือ ทัลคัม (Talcum) แป้งข้าวเจ้า มอลโตเด็คซ์ตริน (Maltodextrins) เพกติน (Pectin) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) และแซนทาลคัม (Xanthan gum) ตรวจวัดปริมาณวิตามินซีในมะขามผงด้วยวิธีไตเตรท (45.1.14 Titrimetric method) ของ AOAC 16th Edition (1998) โดยควบคุมอัตราส่วนสารจับตัวต่อเนื้อมะขามเปียก 1:2 ทำ 3 ซ้ำ

3. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารจับตัวต่อเนื้อมะขามเปียก

สารจับตัวที่เหมาะสมในการศึกษาข้อ 2 นำมาผสมกับเนื้อมะขามเปียก 5 ระดับคือ 1 : 2.0, 2.25, 2.5, 2.75 และ 3.0 โดยน้ำหนัก ทดสอบ 2 ซ้ำ เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากลักษณะเนื้อสัมผัสของมะขามผงที่ได้

4. การศึกษาระดับการตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง

ระดับการตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งดังแสดงในตารางที่ 1 เปลี่ยนแปลงเฉพาะเวลาในระยะเวลาให้ความร้อน (Desorption-only phase) ในช่วงที่ 4 และ 5 เท่านั้น โดยแปรค่าเวลาในช่วงที่ 4 และ 5 เป็น 4 ระดับเท่า ๆ กันคือ ช่วงละ 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง ทดสอบ 2 ซ้ำ เพื่อคัดเลือกหาระดับการตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม โดยพิจารณาความเหมาะสมจากความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ และลักษณะเนื้อสัมผัสของมะขามผงที่ได้

5. การศึกษาคุณภาพของมะขามผง

การวัดคุณภาพมะขามผงที่ได้จากการผลิตในสภาวะที่เหมาะสมตามผลการศึกษาในหัวข้อที่ 4 ปฏิบัติตามมาตรฐานของ มพช.450/2547 ผลิตภัณฑ์มะขามขัดผิว ตรวจวัดค่าชี้ละ 3 ซ้ำ ยกเว้นการตรวจวัดค่าวิตามินซี

ผล

1. ผลของสารจับตัวที่เหมาะสม

สารจับตัวทั้ง 6 ชนิดทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลือในมะขามผงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) จึงพิจารณาราคาเริ่มต้น และความยากง่ายในการเตรียมสาร พบว่า แป้งข้าวเจ้า ทาลคัม และแซนแทนกัม เป็นสารจับตัวที่ผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อมะขามได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาผสมสั้น (2-3 นาที) และเมื่อแห้งแล้วมะขามไม่ติดแน่นกับภาควาง แต่ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมะขามผงที่เตรียมจากทาลคัมมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า ถึงแม้จะมีราคาสูงกว่าเล็กน้อยก็ได้ จึงเลือกทาลคัมเป็นสารจับตัวในการผลิตมะขามผง

Table 2 Ascorbic acid (mg/100 g) detected from tamarind powder

Tamarind juice mixed with various carriers (Initial price in kg per Baht)	Ascorbic acid (mg/100 g) in tamarind powder			
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean ± SD
Rice flours (14 Baht/kg)	5.33	3.33	3.29	3.98±11.16
Talcum (40 Baht/kg)	5.33	3.27	4.91	4.50±1.09
Maltodextrins (190 Baht/kg)	4.90	6.54	5.87	5.77±0.82
Pectin (1,755 Baht/kg)	8.14	0.00	0.00	2.71±4.70
Carboxymethyl cellulose (CMC) (445 Baht/kg)	0.00	0.00	2.67	0.89±1.54
Xanthan gum (290 Baht/kg)	3.90	0.00	0.00	1.30±2.25

2. ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารจับตัวต่อเนื้อมะขามเปียก

อัตราส่วนที่เหมาะสมคือสารจับตัวชนิดทาลคัม 1 ส่วนต่อเนื้อมะขามเปียกไม่เกิน 2.75 ส่วนโดยน้ำหนัก (ตารางที่ 3) เนื่องจากให้ลักษณะเนื้อสัมผัสทั้งในด้านความเหนียวติด (Cohesiveness) ความเกาะติด (Adhesiveness) ความยากง่ายในการบด และลักษณะเนื้อสัมผัสในการบดดีกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ

Table 3 Qualities of tamarind powder produced from various ratios of tamarind juice mixed with talcum

Ratios	Ease in removing from drying tray		Ease in breaking freeze-dried tamarind		Ease in grinding		Texture in powder form	
	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2
1:2.0	4 ^a	4	2	2	4	4	3	3
1:2.25	4	3	2	2	3	4	3	2
1:2.5	3	3	3	3	4	4	4	5
1:2.75	4	4	4	5	5	5	5	5
1:3.0	1	1	2	1	2	1	1	1

^a 1 = Very low

2 = Low

3 = Medium

4 = High

5 = Very high

3. ผลของระดับการตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง

ระดับการตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งในขั้นตอนที่สองที่เหมาะสมคือช่วงละ 4 ชั่วโมง (ตารางที่ 4 และ 5) รวมเป็นระยะเวลาในการอบแห้งขั้นแรกถึงขั้นที่สอง 18 ชั่วโมง โดยมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่อกรัมมวลแห้งของมะขามผงที่ผลิตได้ 71.711 kJ และอัตราการผลิต 0.192 kg_{water}·m⁻²·h⁻¹

Table 4 Moisture content (MC) and water activity (a_w) of freeze-dried tamarind affected by the various freezing temperature and times

No. of series ^a	MC (% w.b)	a_w (dimensionless)
Series 1	6.45±0.07	0.263±0.004
Series 2	7.60±0.56	0.281±0.005
Series 3	6.98±0.02	0.255±0.002
Series 4	18.30±0.85	0.299±0.003

^a Freezing times in a period 4 and 5 in Series 1, 2, 3 and 4 were 3, 4, 5 and 6 hours per each period, respectively.

Table 5 A series of freezing temperature and times

No. of series ^a	Ease in removing from drying tray		Ease in breaking freeze-dried tamarind		Ease in grinding		Texture in powder form	
	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2
Series 1	1 ^b	2	1	1	2	1	2	2
Series 2	4	4	4	3	5	5	5	5
Series 3	3	4	3	3	4	4	4	4
Series 4	4	4	4	4	5	5	4	4

^a Freezing times in a period 4 and 5 in Series 1, 2, 3 and 4 were 3, 4, 5 and 6 hours per each period, respectively.

^b 1 = Very low

2 = low

3 = medium

4 = high

5 = very high

4. ผลการศึกษาคุณภาพของมะขามผง

ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานมะขามผงชนิดผิว ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) 450/2547 ผลิตภัณฑ์มะขามชนิดผิว และ 1316/2549 ผลิตภัณฑ์มะขามผง ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า มะขามผลที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีคุณภาพผ่านเกณฑ์ โดยมีวิตามินสูงถึง 23.88 mg/100 g solution

Table 6 Qualities of tamarind in various forms

Qualities	Tamarind juice	Tamarind mixed with Talcum	Tamarind powder
Moisture content (%w.b)	74.55 ± 0.49 ^a	53.15 ± 1.06	6.98 ± 0.02
Water activity (Dimensionless)	0.910 ± 0.024	0.935 ± 0.028	0.255 ± 0.002
Color values			
-L*	24.24 ± 0.11	51.03 ± 0.83	66.44 ± 0.34
-a*	8.39 ± 0.27	5.33 ± 0.09	5.26 ± 0.08
-b*	18.95 ± 0.75	17.89 ± 1.09	19.85 ± 0.32
pH	2.283 ± 0.006	6.327 ± 0.023	2.593 ± 0.023
Dissolubility (sec)	N/M ^b	N/M	18.89 ± 0.48
Stability	N/M	N/M	Minor group forming appeared
Ascorbic acid (mg/100 g)	26.39	N/M	23.88

^aMean ± SD

^bNot measured

วิจารณ์ผล

จากการทดสอบการอบแห้งแบบเยือกแข็งบางส่วน เมื่อทำการลดเวลาการอบแห้งลง แล้วนำมะขามผงที่ได้มาตรวจวัดคุณภาพ จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ได้มีค่าต่ำ ค่าสีในระบบ L*-a*-b* ของมะขามผงมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยที่ค่า a* และ b* มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ค่า L* นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นมากเป็นสามเท่าของมะขามเปียกเริ่มต้น นั่นคือมะขามผงที่ได้มีความสว่างมากขึ้น ส่วนค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 18.89 ± 0.48 วินาที ซึ่งนับว่าเป็นช่วงเวลาที่น้อย เนื่องจากมะขามผงมีความแห้งมากจึงสามารถละลายได้เร็ว แสดงว่ามะขามผงมีความสามารถในการละลายสูง และเมื่อนำไปทดสอบความคงสภาพโดยการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แล้วสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพพบว่า มะขามผงที่ผ่านการทดสอบการคงสภาพมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของระดับอุณหภูมิในช่วงระหว่างการทดสอบ ส่วนการวัดปริมาณกรดแอสคอร์บิก ทำการวัดตามมาตรฐานของ AOAC ด้วยวิธีการไตเตรตหมายเลข 967.21 พบว่า มะขามผงมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงจากมะขามเปียกเริ่มต้น คิดเป็น 9.5% ซึ่งเป็นปริมาณที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย นั่นแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งแบบเยือกแข็งสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มาก เนื่องจากค่าคุณภาพที่ได้มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ตั้งต้นไม่มากนัก

คำขอขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

- กองเกษตรเคมี. 2544. เครื่องทำแห้งเยือกแข็งภายใต้สภาวะสุญญากาศ. *วารสารเคหการเกษตร* 25(2): 202-204.
- จิตพัต แยมแพ. 2541. *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูบไก่อึ่งสำเร็จรูปโดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์. 2544. *เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งบางส่วนสำหรับอาหาร*. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ปัทมา ตั้งใจ. 2547. *การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งปลิงทะเล*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พรกมล กริถาวร อนุกุล วิฒนสุข. ม.ป.ป. *การพัฒนากระบวนการผลิตมะขามผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง*. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ.
- พรรณี ลิขิตวรรณการ. 2526. *การทำแห้งในสภาพแช่แข็งของกุ้งและเห็ดหอม*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) 1316/2549 ผลิตภัณฑ์มะขามขัดผิว. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สุจิตรา ชาดิมนตรี และอังศุมาลี พองคำ. 2549. *การพัฒนากระบวนการทำมะขามผงสำหรับกิจการสปาด้วยวิธีการอบแห้งแบบเยือกแข็ง*. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- อัครเดช แก้ววิเชียร. 2548. Freeze Dryer เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง. *วารสาร LAB.TODAY* 4(30):27-32.
- AOAC International. 1998. *Official methods of analysis of AOAC International*, 16th Edition, 4th revision. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Arévalo-Pinedo, A. and F.E.X. Murr. 2005. Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): modelling with shrinkage. *J. of Food Eng.* In Press.
- Chakraborty, R., A.K. Saha and P. Bhattacharya. 2005. Modeling and simulation of parametric sensitivity in primary freeze-drying of foodstuffs. *Separation and Purification Technology*. In Press.
- Kompany, E. and F. René. 1995. A note on the freeze-drying conditions for improved aroma retention in cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 28: 238-240.
- Krokida, M.K. and C. Philippopoulos. 2006. Volatility of apples during air and freeze drying. *J. of Food Eng.* 73: 135-141.
- Kuu, W.Y., L.M. Hardwick and M.J. Akers. 2005. Correlation of laboratory and production freeze drying cycles. *International Journal of Pharmaceutics* 302: 56-67.
- Manohar, B., P. Ramakrishna and K. Udayasankar. 1991. Some physical properties of tamarind (*Tamarinds indica* L.) juice concentrates. *J. of Food Eng.* 13: 241-258.
- Sharma, N.K. and C.P. Arora. 1995. Influence of product thickness, chamber pressure and heating conditions on production rate of freeze-dried yoghurt. *J. Refrig.* 18(5): 297-307.
- Tang, X. (Charlie) and M.J. Pikal. 2004. Design of freeze-drying processes for pharmaceuticals: practical advice. *Pharmaceutical Research* 21(2): 191-200.
- Welti-Chanes, J., D. Bermúdez, A. Valdez-Fragoso, H. Mújica-Paz and S.M. Alzamora. 2004. Principles of freeze-concentration and freeze-drying. In *Handbook of frozen foods*, eds. Y.H. Hui, P. Cornillon, I.G. Legaretta, M.H. Lim, K.D. Murrell, Wai-Kit Nip, Ch. 2, 13-24. New York: Marcel Dekker, Inc.