

ระยะเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสม สำหรับการผลิตพลับกึ่งแห้ง

Optimal Drying Time for Intermediate Moisture Persimmon Production

ไพโรจน์ วิริยจารี^{1/} ทารา ศรีสกุล^{1/} และ สุจินดา ศรีวัฒนะ^{1/}
Pairote Wiriycharee^{1/} Tara Srisakul^{1/} and Sujinda Sriwattana^{1/}

Abstract : Astringent varieties of persimmon could be produced to an intermediate moisture persimmon. The suitable varieties were Ang Sai (P3) and Niu Scin (P4) which they should be treated by carbondioxide condition and stored at 28-32 °C for 3 days in order to decrease in astringent compound (soluble tannin). And then, kept at room temperature for 2-3 days until the maturity of the fruit became to 80 %.

An optimal drying time of both varieties of persimmon was also investigated, used initial temperature 45°C for 24 hrs and decreased to 40°C until moisture content 30 %. It was found that the suitable drying time of P3 persimmon until the final 30 % moisture content was 60 hours and 34 minutes. In fact that, 1 fruit (100.75 g) of P3 could be reduced the weight until 31.83 g at the end of process. However, P4 persimmon was also studied on the suitable drying time for the same condition of P3. It was considered that the time should be 77 hours and 37 minutes that was 1 fruit (191.63 g) of P4 could be decreased in weight until 59.11 g on the finished product. Both could be packed in closed packaging material and kept at low temperature to prolong the shelf-life and still maintain the good quality of the products.

^{1/} ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลูกภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

^{2/} Product Development Technology Department, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ : พลับสดพันธุ์ฝาดสามารถนำมาผลิตเป็นพลับกึ่งแห้งได้ ซึ่งสายพันธุ์ที่เหมาะสม คือ พันธุ์อิงไส (Ang Sai ; P3) และ นูชิน (Niu Scin ; P4) โดยนำพลับสดดังกล่าวมาผ่านกรรมวิธีการลดความฝาด ด้วยวิธีบรรจุในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน เพื่อลดปริมาณแทนนินที่ละลายน้ำได้ ทำให้ความฝาดลดลง หลังจากนั้นนำมาเก็บรักษา ในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิเดิมนาน 2-3 วัน จนกระทั่งมีความสุกประมาณร้อยละ 80

การศึกษาหาเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสมโดยการทำแห้งพลับกึ่งแห้งใช้อุณหภูมิเริ่มต้นช่วง 24 ชั่วโมงแรกที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะทำแห้งต่อที่อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพลับมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 จากการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการผลิตพลับกึ่งแห้งพบว่า เวลาในการทำแห้งพลับพันธุ์อิงไส (P3) คือ 60 ชั่วโมง 34 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30 โดยการทำแห้งพลับ 1 ผล (100.75 กรัม) ของพันธุ์ P3 ให้มีความชื้นดังกล่าวนี้ ต้องทำแห้งจนกระทั่งมีน้ำหนัก เป็น 31.83 กรัม และเวลาในการทำแห้งของพลับพันธุ์นูชิน(P4) คือ 77 ชั่วโมง 37 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30 โดยการทำแห้งพลับ 1 ผล(191.63 กรัม) ของพันธุ์ P4 ให้มีความชื้นตามที่ต้องการนั้น ต้องทำแห้งจนกระทั่งมีน้ำหนักเป็น 59.11 กรัม โดยที่ผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งที่ได้ควรเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีและเก็บรักษาได้ยาวนาน

Index words : พลับ พลับกึ่งแห้ง การทำแห้ง

Persimmon, Intermediate Moisture Persimmon, Drying technique

คำนำ

พลับที่นำมาทำการผลิตเป็นพลับกึ่งแห้งอาศัยหลักการของการระเหยน้ำออกไปจากผลพลับ จนกระทั่งมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 30 (Davies et al., 1976) ซึ่งการนำเทคโนโลยีผลิตอาหารกึ่งแห้งมาใช้นั้นจะสามารถเก็บพลับไว้บริโภคได้นาน (Seow et al., 1988)ปกติในพลับมีปริมาณน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 80 ดังนั้นคงใช้ระยะเวลา นานพอสมควรในการทำให้แห้ง ประกอบกับ อุณหภูมิที่ใช้มันจะอยู่ในช่วงต่ำ คือ ในช่วงอุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยา สีน้ำตาลและคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างได้ (ไพโรจน์, 2539; Deman,1990; William, 1976) และขนาดของผลพลับที่มีขนาดเล็ก-ใหญ่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเวลาในการทำแห้ง จนอยู่ในลักษณะกึ่งแห้งก็ย่อมแตกต่าง

กันบ้าง ประกอบกับปัจจัยอื่นๆอีก เช่น ความเป็น รุพรุนของอาหารที่ต่างกัน และพื้นที่ผิวในการที่จะ สัมผัสอากาศร้อนที่แตกต่างกัน ปริมาณของอาหาร ที่จัดเรียงในตู้อบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลมของตู้อบ และสภาพความดันที่ แตกต่างกันก็ย่อมจะทำให้เวลาในการทำแห้ง แตกต่างกันไปด้วย (สมบัติ ,2529 ; Potter, 1968) การทำแห้งในอาหารนั้นมีหลักการในการ เคลื่อนที่ของน้ำอยู่ 2 ลักษณะคือ เมื่อตอนเริ่มการ ทำแห้งพบว่า การเคลื่อนที่ของน้ำภายในเนื้อสาร อาหารนั้นจะเป็นแบบ Capillarity mechanism ก่อน ทั้งนี้เนื่องจากในตอนเริ่มการให้ความร้อนนั้น น้ำในสารยังมีปริมาณมากอยู่และสารอาหาร นับว่า เป็นสารพวกที่มีรูพรุนมากมาย ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อน หรือเมื่อมีอากาศร้อนผ่านไปทีผิวของ สารจะเกิดการขยายตัวของอากาศคล้ายกับว่ามีท่อ ขนาดเล็กๆ ติดอยู่ตรงรูนั้น พบว่ายิ่งอากาศขยายตัว

มากขึ้นเท่าไรจะทำให้มีแรงดึงดูดในท่อเล็กๆ นี้อีกขึ้นเท่านั้น หลังจากน้ำที่อยู่ตามรูพรุนของ สารอาหารนั้นหมดแล้ว การเคลื่อนที่ของน้ำภายใน สารจะเปลี่ยนเป็นแบบ Diffusion mechanism นั่นก็คือต่อไปการเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเป็นแบบ Molecular diffusion ซึ่งเกิดเนื่องมาจากมีความ แตกต่างของความดันไอนั่นเอง โดยจะเริ่มจากเซลล์ ที่อยู่ติดกับรูพรุนหรือท่อเล็กๆ ก่อน เมื่อได้รับความร้อนทำให้อากาศขยายตัว ทำให้น้ำเริ่มซึมตัว ออกจากเซลล์ขึ้นไปตามรูพรุนเล็กๆ จึงทำให้ภายใน เซลล์นั้นมีความเข้มข้นมากขึ้น จึงเกิดแรงดึงดูด ทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำ จากเซลล์ที่อยู่ติดกัน ซึมเข้าไปในเซลล์ที่ติดกับรูพรุน แล้วจะระเหย ออกไปทางรูพรุนนั้น ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดต่อเนื่อง ไปเรื่อยๆ จนทำให้อาหารนั้นแห้งขึ้น (Fellow, 1990; Potter, 1968)

ดังนั้นในการศึกษาหาเวลาในการทำแห้ง ที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตปลั๊บกึ่งแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะแสดงผลการ ทดลองของค่าปริมาณความชื้น น้ำหนัก และอัตราการแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการทำแห้งที่ เวลาต่างๆ การทดลองนี้ต้องการที่จะทราบถึงการใช้ เวลาในการทำแห้งปลั๊บกึ่งแห้งที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 หรืออยู่ในลักษณะของปลั๊บกึ่งแห้งนั่นเอง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การเตรียมวัตถุดิบ

ปลั๊บน้ำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นปลั๊บน้ำพันธุ์อัส (Ang Sai ; P3) และ นูชิน (Niu Scin ; P4) ซึ่งเป็นปลั๊บน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตปลั๊บกึ่งแห้ง

กึ่งแห้ง (ไพโรจน์, 2535) นำปลั๊บน้ำที่มีความสดประมาณร้อยละ 70 โดยพิจารณาจากค่าทางเคมีที่เหมาะสมของปลั๊บน้ำ คือ ความชื้นควรมีค่าร้อยละ 82-83 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดควรมีค่าประมาณร้อยละ 17-18 ความเป็นกรดคิดเทียบกรดซิตริก มีค่าประมาณร้อยละ 0.08-0.10 ถ้าจะใช้วิธีสังเกตจากสีผิวของผลปลั๊บน้ำแล้ว สีผิวควรมีสีออกเหลืองส้ม จากนั้นทำการลดความฝืดของปลั๊บน้ำโดยวิธีบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนขนาด 49 X 28 นิ้ว วางเรียงปลั๊บน้ำ 2 ชั้น (ชั้นละ 38-40 ผล) ทำการดูดอากาศออกจากถุงด้วยเครื่องดูดอากาศจากนั้นอัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดัน 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลานาน 50 วินาที นำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน หลังจากนั้นนำออกจากถุงแล้วมาเก็บรักษาในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิเดิมนาน 2-3 วัน (เก็บไว้ในตู้ที่ป้องกันการกัดของแมลง) จนกระทั่งมีความสดประมาณร้อยละ 80 ทำการปอกเปลือกปลั๊บน้ำ

การทำแห้งปลั๊บน้ำ

ปลั๊บน้ำที่ผ่านการลดความฝืดเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนแรกจะนำปลั๊บน้ำไปทำให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าแบบถาด (Pilot scale) โดยใช้ถาดที่มีขนาด 7.2 X 11.2 นิ้ว วางเรียงปลั๊บน้ำจำนวน 8 ผล นำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำให้แห้งต่อที่อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเวลาดังกล่าวจะทำการบีบคั้นปลั๊บน้ำ 2 ครั้งต่อวัน ด้วยการใช้นิ้วมือที่สวมถุงมือสะอาดค่อยๆ บีบคั้นเนื้อปลั๊บน้ำโดยรอบจากซ้ายให้แบนลง ปิดไฟตู้อบเพื่อปรับสมดุลความชื้น (Water balance) ในตู้อบ ทุกๆ 8 ชั่วโมง โดยทำนานครั้งละ 2 ชั่วโมง เพื่อลดปัญหาการเกิด

Case hardening จากนั้นในขั้นตอนที่สองนำปลั๊กไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นในปลั๊กเท่ากับร้อยละ 30 จะได้ปลั๊กในลักษณะของปลั๊กกึ่งแห้ง

การหาเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งปลั๊ก

ในระหว่างการทำปลั๊กให้แห้งนั้น ทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งปลั๊กกึ่งแห้ง โดยการชั่งน้ำหนักของปลั๊กที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีปริมาณความชื้นในปลั๊กเท่ากับร้อยละ 30 ณ ความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะการทดลองที่ร้อยละ 70 ความเร็วลมของตู้อบแบบถาดที่ 1.4 เมตรต่อวินาที

การวิเคราะห์และแปลผล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Stat-packets(Walonic, 1987) ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากการศึกษาทั้งสอง นำมาวิเคราะห์เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งของปลั๊กต่อการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตปลั๊กกึ่งแห้ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปลั๊กที่นำมาทำการผลิตเป็นปลั๊กกึ่งแห้ง โดยหลักการของการระเหยน้ำออกไปจากผลปลั๊ก จนกระทั่งมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 30 ปกติในปลั๊กมีปริมาณน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 80 ดังนั้นจึงใช้ระยะเวลานานพอสมควรในการทำแห้ง

ประกอบกับอุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วงต่ำ คือ ในช่วงอุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสที่ไม่ดีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และขนาดของผลปลั๊กที่มีขนาดเล็ก-ใหญ่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเวลาในการทำแห้งจึงอยู่ในลักษณะกึ่งแห้งที่ย่อมแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้การศึกษาวเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตปลั๊กกึ่งแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แสดงผลการทดลองเป็นค่าปริมาณความชื้น และน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการทำแห้งที่เวลาต่างๆ ของปลั๊กกึ่งแห้งพันธุ์ P3 แสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 และกราฟภาพที่ 1 และ 2 พบว่า ปลั๊กพันธุ์ P3 มีการระเหยของน้ำไปอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการแห้งในช่วงแรกที่สูงที่สุด ได้จากความชันของเส้นกราฟที่มีอยู่มาก ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำที่เป็นองค์ประกอบยังมีอยู่มาก การแพร่ ซึมผ่านของน้ำมีได้อย่างต่อเนื่อง โดยจากกราฟภาพที่ 1 น้ำหนักของปลั๊กมีการลดลงไปมากในช่วง 30 ชั่วโมงแรก จากน้ำหนัก 806 กรัม ไปเป็น 334 กรัม ด้วยองค์ประกอบของน้ำที่มีอยู่มาก และการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงที่ 45 องศาเซลเซียส และในกราฟภาพที่ 2 แสดงผลที่สอดคล้องกันคือ เมื่อน้ำหนักของปลั๊กมีการลดลงไปมากแสดงว่า การระเหยไปของน้ำจึงมีอยู่มาก ความชื้นของปลั๊ก จึงมีการลดลงอย่างมากโดยใน 30 ชั่วโมงแรกมี การลดลงของปริมาณความชื้นจาก 4.30 กรัม น้ำต่อกรัมของแข็งไปเป็น 1.32 กรัม น้ำต่อกรัมของแข็ง จากกราฟทั้งสองภาพจะสังเกตเห็นได้ว่า ปลั๊กมีการระเหยไปของน้ำอย่างต่อเนื่องและกระทำได้อย่างง่าย เพราะรูพรุนของเนื้อปลั๊กมีลักษณะที่ใหญ่ การเคลื่อนที่ของน้ำและการ

Table 1 Moisture content and changed weight during drying of P3-IM-Persimmon at different time.

Time (hrs)	Weight (g)	Moisture content (g H2O/g solid)		$\frac{W_t \times 100}{W_o}$
		Average		
0	806	4.31	-	-
0.083	803	4.29	4.30	99.77
0.17	800	4.27	4.28	99.30
0.25	796	4.25	4.26	98.84
0.33	793	4.23	4.24	98.38
0.42	790	4.21	4.22	97.91
0.50	788	4.19	4.21	97.45
0.67	782	4.15	4.17	96.75
8.83	776	4.11	4.13	95.82
1	770	4.07	4.09	94.90
1.5	755	3.98	4.03	93.50
2	739	3.87	3.93	91.50
3	724	3.77	3.82	88.63
4	698	3.60	3.69	85.61
5	671	3.42	3.51	81.44
6	652	3.30	3.36	77.96
7	643	3.24	3.27	75.87
8	623	3.11	3.18	73.78
9	599	2.95	3.03	70.30
12	561	2.7	2.83	65.66
15	520	2.43	2.57	59.63
16	503	2.31	2.37	54.99
18	477	2.17	2.26	51.74
21	441	1.91	2.03	47.10
24	409	1.70	1.81	42.0
27	370	1.44	1.57	36.43
30	334	1.20	1.32	30.83
32	324	1.14	1.17	27.15
33	317	1.09	1.12	25.99
36	294	0.94	1.02	23.67
39	283	0.87	0.91	21.11
40	277	0.83	0.85	19.72
42	268	0.77	0.80	18.56
45	255	0.68	0.73	16.94
48	246	0.62	0.65	15.08
54	235	0.55	0.59	13.69
56	229	0.51	0.53	12.30
60	217	0.43	0.47	10.91
64	208	0.37	0.40	9.28
66	204	0.34	0.36	8.35
72	196	0.29	0.32	7.42
76	186	0.23	0.26	6.03

Remark : Initial temperature 45°C for 24 hrs ; decreased to 40°C until finished. Condition : 70 % RH of room temperature, 1.4 m/s of air velocity.

RH of air inlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. RH of air outlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. Water balance 1 time/8 hrs. (1 time = 2 hrs)

Calculation : Moisture content = $\frac{\text{Weight of sample at different time} - \text{Dry weight of sample}}{\text{Dry weight of sample}}$

Dry weight of sample

W_t = Moisture content of sample at different time ; W_o = Moisture content of sample at start time

ระยะเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปลั๊กแห้ง

สัมผัสกับอากาศร้อนจึงเกิดได้โดยตรง ทำให้เส้นกราฟไม่มีลักษณะของ Constant rate period โดยที่เส้นกราฟแสดงในส่วนของลักษณะ Falling rate period ได้เลยและเมื่อเวลานานมากขึ้นการระเหยไปของน้ำในปลั๊กจะต่ำ สังเกตได้จากเส้นกราฟมีความชันที่น้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำในปลั๊ก เริ่มลดน้อยลงและมีการซึมผ่านได้ยาก ประกอบกับการลดอุณหภูมิของการทำแห้งมาที่ 40 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ทั้งนี้เทคนิคในการทำน้ำสมดุลที่ทุกๆ 8 ชั่วโมง (นานครั้งละ 2 ชั่วโมง) จะช่วยลดความแข็งกระด้างของเนื้อปลั๊กได้ และทำให้การระเหยน้ำออกเป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยที่เมื่อเวลานานขึ้นน้ำหนักของปลั๊กจะลดน้อยลงและน้ำหนัก ของปลั๊กก็จะมีน้ำหนักน้อยลงจนเกือบคงที่ในที่สุด อนึ่งเนื่องจากความชื้นของตัวอย่าง ปลั๊กแต่ละผลมีปริมาณที่แตกต่างกัน อัตราการระเหยของน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีในปลั๊กจึงแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้จึงเทียบกับร้อยละของปริมาณความชื้นที่คงเหลือในสารตัวอย่าง นั่นคือ

$$\frac{W_t \times 100}{W_0}$$

(W_t หมายถึง ความชื้นของปลั๊ก ณ เวลาใดๆ ;
 W_0 หมายถึง ความชื้นของปลั๊กเริ่มต้น)

ซึ่งจะทำให้เห็นได้ว่าร้อยละของการลดลงไปของน้ำในปลั๊ก P3 มีการลดลงจากร้อยละ 99.77 ไปเป็น 30.63 (ใน 30 ชั่วโมงแรก) (ปลั๊ก P3 มีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เป็นองค์ประกอบเริ่มแรกเท่ากับร้อยละ 81.17)

ทั้งนี้เมื่อนำค่าของความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆมาหาสมการเชิงเส้นตรงเพื่อหาความสัมพันธ์ของการทำให้แห้งได้คือ

$$\begin{aligned} \log(\text{ความชื้น ; กรัมต่อกรัมของแข็ง}) &= 1.4438 - 0.0373 \\ &(\text{เวลา ; ชั่วโมง}) \\ R^2(\text{ร้อยละ}) &= 99.65 \end{aligned}$$

จากสมการดังกล่าวจึงนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสม ต่อการทำให้แห้งของปลั๊กแห้งพันธุ์ P3 ได้ คือ

ความชื้นที่ต้องการให้มีในผลิตภัณฑ์ปลั๊กแห้งคือที่ความชื้นร้อยละ 30 เมื่อคิดในค่าของความชื้นที่มีหน่วยเป็น กรัมต่อกรัมของแข็ง (Dry basis) ได้จากความชื้น (กรัมต่อกรัมของแข็ง) = $30 / (100 - 30) = 0.42857$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการเพื่อหาเวลาในการทำแห้ง ได้คือ

$$\log(0.42857) = 1.4438 - 0.0373(\text{เวลา ; ชั่วโมง})$$

เพราะฉะนั้นเวลาในการทำแห้งของปลั๊กพันธุ์ P3 คือ 48.57 ชั่วโมง แต่ในทุก 8 ชั่วโมงจะทำน้ำสมดุล 1 ครั้ง โดยทำนานครั้งละ 2 ชั่วโมง ดังนั้นการทำให้แห้งของปลั๊ก P3 ที่ใช้เวลา 48.57 ชั่วโมงจะต้องทำน้ำสมดุลถึง 5 ครั้งโดยประมาณ คิดเป็นเวลาในการทำน้ำสมดุลทั้งหมด 6×2 เท่ากับ 12 ชั่วโมง เวลาในการทำแห้งทั้งหมดจึงเป็น 60.57 ชั่วโมง หรือ 60 ชั่วโมง 34 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์ปลั๊กแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30

ทั้งนี้เมื่อนำค่าของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่าง ๆ มาหาสมการเชิงเส้นตรงเพื่อหาความสัมพันธ์ของการทำให้แห้งได้ คือ

$$1/(\text{น้ำหนัก ; กรัม}) = 0.0012 + 5.6165 \times 10^{-5} (\text{เวลา ; ชั่วโมง})$$

$$R^2 (\text{ร้อยละ}) = 99.52$$

จากสมการดังกล่าว จึงนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสมต่อการทำให้แห้งของปลั๊กกิ่งแห้งพันธุ์ P3 ได้ คือ จากการคำนวณจากสมการเชิงเส้นตรงของ

ความชื้นกับเวลาต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปในการทำให้แห้งของปลั๊กกิ่งแห้ง ทำให้ทราบว่าเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจนมีความชื้นเป็นร้อยละ 30 คือใช้เวลาในการทำแห้งนาน 48.57 ชั่วโมง

ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการเพื่อหาน้ำหนักสุดท้ายในการทำแห้งได้คือ

$$1/(\text{น้ำหนัก ; กรัม}) = 0.0012 + 5.6165 \times 10^{-5} (48.57)$$

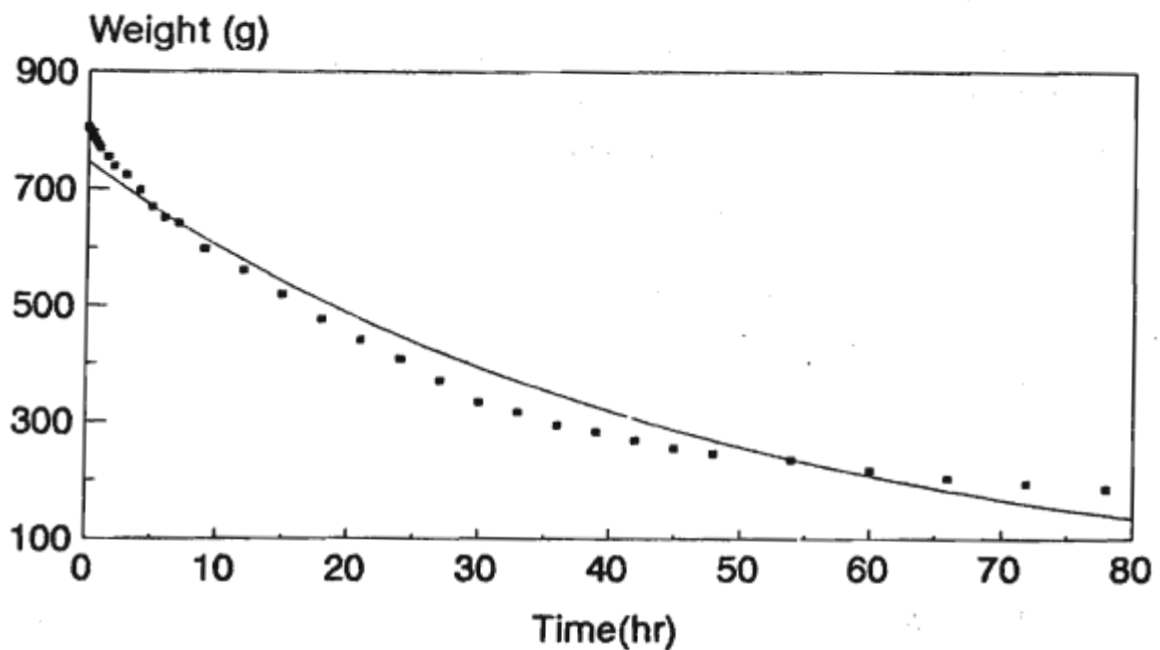


Figure 1 Relationship between weight and time during drying of P3-IM-Persimmon

Remark : Initial temperature 45°C for 24 hrs ; decreased to 40°C until finished. Condition : 70 % RH of room temperature, 1.4 m/s of air velocity. RH of air inlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. RH of air outlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. Water blance 1 time/8 hrs. (1 time = 2 hrs)

Calculation : Moisture content = $\frac{\text{Weight of sample at different time} - \text{Dry weight of sample}}{\text{Dry weight of sample}}$

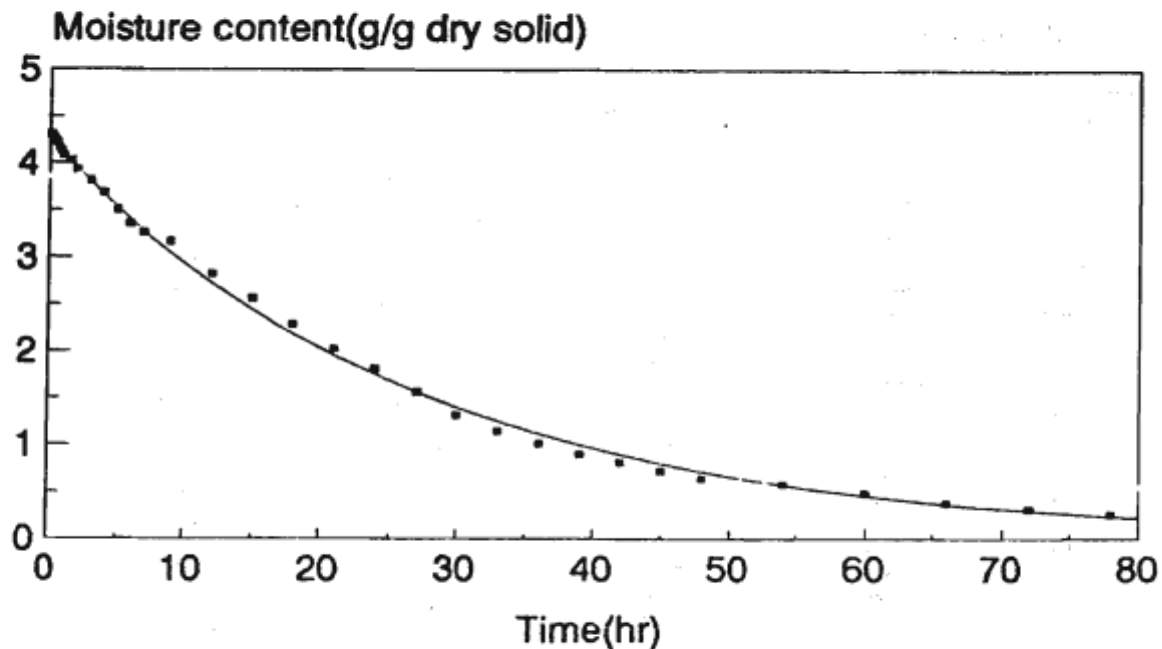


Figure 2 Relationship between moisture and time during drying of P3-IM-Persimmon

Remark : Initial temperature 45°C for 24 hrs ; decreased to 40°C until finished. Condition : 70 % RH of room temperature, 1.4 m/s of air velocity. RH of air inlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. RH of air outlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. Water blance 1 time/8 hrs. (1 time = 2 hrs)

$$\text{Calculation : Moisture content} = \frac{\text{Weight of sample at different time} - \text{Dry weight of sample}}{\text{Dry weight of sample}}$$

เพราะฉะนั้นน้ำหนักสุดท้ายในการทำแห้งของพลับพันธุ์ P3 เพื่อให้มีความชื้นร้อยละ 30 คือ 254.59 กรัม ในการทดลองได้ใช้พลับในการทำแห้ง 8 ผล ดังนั้นน้ำหนักเฉลี่ยของพลับต่อ 1 ผลคือ $806/8 = 100.75$ กรัม ซึ่งการทำแห้งของพลับพันธุ์ P3 ให้มีความชื้นเป็นร้อยละ 30 ต่อ 1 ผลนั้นต้องทำแห้งจนกระทั่งมีน้ำหนัก เป็น 31.83 กรัม

ตารางที่ 2 และภาพที่ 3 และ 4 เป็นข้อมูลและกราฟการทำแห้งของพลับพันธุ์ P4 โดยมีน้ำหนักและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกันกับพลับกิ่งแห้งพันธุ์ P3 ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่จะมีเวลาในการทำแห้งที่นานกว่า เพราะพันธุ์นี้จะมีขนาดของพลับที่ใหญ่กว่าพันธุ์ P3 ทำให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศร้อนได้น้อยกว่า (พลับ P4 มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 81.95)

Table 2 Moisture content and changed weight during drying of P4-IM-Persimmon at different time.

Time (hrs)	Weight (g)	Moisture content		$W_t \times 100$ W_0
		(g H ₂ O/g solid)	Average	
0	1533	4.54	-	-
0.083	1527	4.52	4.53	99.78
0.17	1524	4.51	4.52	99.56
0.25	1519	4.49	4.50	99.12
0.33	1514	4.47	4.48	98.68
0.42	1510	4.46	4.47	98.46
0.50	1506	4.44	4.45	98.02
0.67	1498	4.41	4.43	97.58
0.83	1488	4.38	4.40	96.92
1	1481	4.35	4.37	96.26
1.5	1456	4.26	4.31	94.93
2	1433	4.18	4.22	92.96
3	1392	4.03	4.11	90.53
4	1353	3.89	3.96	87.22
5	1319	3.77	3.83	84.36
6	1290	3.66	3.72	81.94
7	1269	3.55	3.61	79.52
8	1238	3.47	3.51	77.31
9	1210	3.37	3.42	75.33
12	1165	3.21	3.29	72.47
15	1100	2.98	3.10	68.28
16	1080	2.90	2.94	64.76
18	1034	2.74	2.82	62.12
21	961	2.47	2.61	57.49
24	889	2.21	2.34	51.54
27	809	1.92	2.07	45.59
30	765	1.76	1.84	40.53
32	732	1.65	1.71	37.67
33	711	1.57	1.61	35.46
36	663	1.40	1.49	32.82
39	636	1.30	1.35	27.74
40	629	1.27	1.29	28.41
42	612	1.21	1.24	27.31
45	565	1.04	1.13	24.89
48	535	0.93	0.99	21.81
54	488	0.76	0.85	18.72
56	481	0.74	0.75	18.52
60	467	0.69	0.72	15.86
64	449	0.62	0.66	14.54
66	440	0.59	0.61	13.44
72	409	0.48	0.54	11.89
78	389	0.41	0.45	9.91
80	385	0.39	0.40	8.81
84	378	0.36	0.38	8.37
88	369	0.33	0.35	7.71
90	366	0.32	0.33	7.37
96	360	0.30	0.31	6.83
102	350	0.26	0.28	6.17

Remark : Initial temperature 45°C for 24 hrs ; decreased to 40°C until finished. Condition : 70 % RH of room temperature, 1.4 m/s of air velocity. RH of air inlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. RH of air outlet (45°C) = 32 %, (40°C) = 40 %. Water balance 1 time/8 hrs. (1 time = 2 hrs)

Calculation : Moisture content = $\frac{\text{Weight of sample at different time} - \text{Dry weight of sample}}{\text{Dry weight of sample}}$

Dry weight of sample

W_t = Moisture content of sample at different time ; W_0 = Moisture content of sample at start time

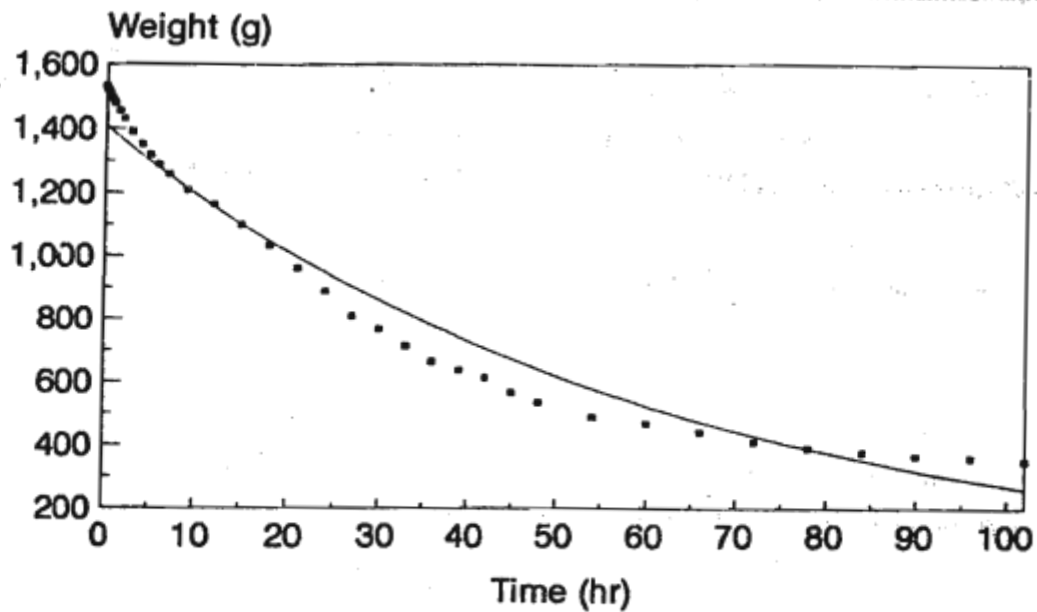


Figure 3 Relationship between weight and time during drying of P4-IM-Persimmon

Remark : Initial temperature 45°C for 24 hrs ; decreased to 40°C until finished. Condition : 70 % RH of room temperature, 1.4 m/s of air velocity. RH of air inlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. RH of air outlet (45°C) = 32 %, (40°C) = 40 %. Water balance 1 time/8 hrs. (1 time = 2 hrs)

Calculation : Moisture content = $\frac{\text{Weight of sample at different time} - \text{Dry weight of sample}}{\text{Dry weight of sample}}$

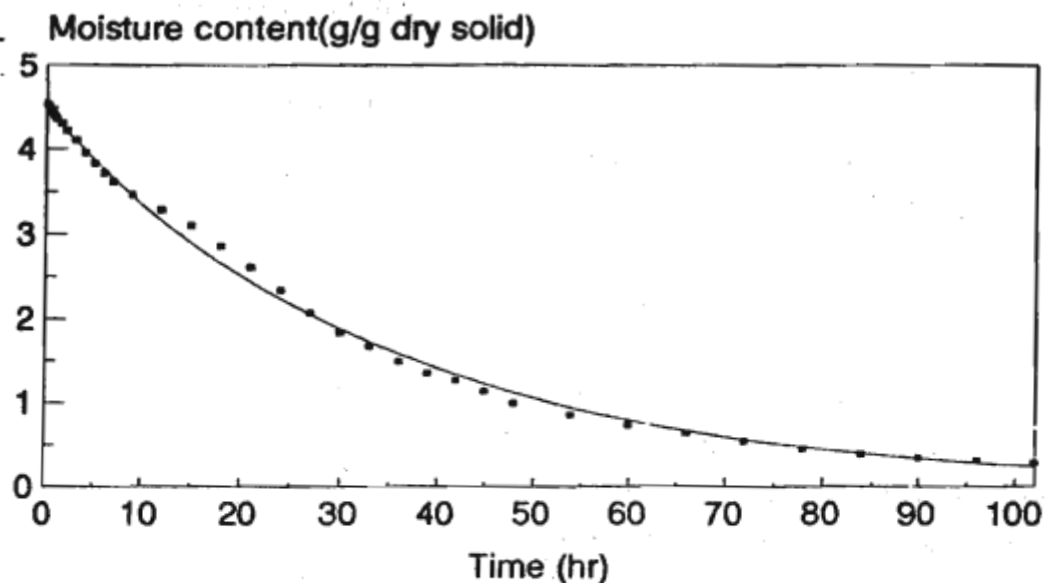


Figure 4 Relationship between moisture and time during drying of P4-IM-Persimmon

Remark : Initial temperature 45°C for 24 hrs ; decreased to 40°C until finished. Condition : 70 % RH of room temperature, 1.4 m/s of air velocity. RH of air inlet (45°C) = 34 %, (40°C) = 40 %. RH of air outlet (45°C) = 32 %, (40°C) = 40 %. Water balance 1 time/8 hrs. (1 time = 2 hrs)

Calculation : Moisture content = $\frac{\text{Weight of sample at different time} - \text{Dry weight of sample}}{\text{Dry weight of sample}}$

ทั้งนี้เมื่อนำค่าของความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆมาหาสมการเชิงเส้นตรงเพื่อหาความสัมพันธ์ของการทำแห้งได้คือ

$$\log(\text{ความชื้น ; กรัมต่อกรัมของแข็ง}) = 1.4960 - 0.0293(\text{เวลา ; ชั่วโมง})$$

$$R^2(\text{ร้อยละ}) = 99.59$$

จากสมการดังกล่าวจึงนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสม ต่อการทำแห้งของพลับกึ่งแห้งพันธุ์ P4 ได้ คือ

ความชื้นที่ต้องการให้มีในผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งคือที่ความชื้นร้อยละ 30 เมื่อคิดในค่าของความชื้นที่มีหน่วยเป็น กรัมต่อกรัมของแข็ง (Dry basis) ได้จาก

$$\text{ความชื้น (กรัมต่อกรัมของแข็ง)} = 30 / (100 - 30) = 0.42857$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการเพื่อหาเวลาในการทำแห้งได้คือ

$$\log(0.42857) = 1.4960 - 0.0293(\text{เวลา ; ชั่วโมง})$$

เพราะฉะนั้นเวลาในการทำแห้งของพลับพันธุ์ P4 คือ 63.617 ชั่วโมง แต่ในทุก 8 ชั่วโมง จะทำน้ำสมดุล 1 ครั้ง โดยทำนานครึ่งละ 2 ชั่วโมง ดังนั้นการทำแห้งของพลับ P4 ที่ใช้เวลา 63.617 ชั่วโมงจะต้องทำน้ำสมดุลถึง 7 ครั้งโดยประมาณ คิดเป็นเวลาในการทำน้ำสมดุลทั้งหมด 7×2 เท่ากับ 14 ชั่วโมง เวลาในการทำแห้งทั้งหมดจึงเป็น 77.617 ชั่วโมง หรือประมาณ 77 ชั่วโมง 37 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30

ทั้งนี้เมื่อนำค่าของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง ไป ณ เวลาต่างๆมาหาสมการเชิงเส้นตรงเพื่อหาความสัมพันธ์ของการทำแห้งได้คือ

$$1/(\text{น้ำหนัก ; กรัม}) = 0.0006 + 2.3813 \times 10^{-5}(\text{เวลา ; ชั่วโมง})$$

$$R^2(\text{ร้อยละ}) = 99.27$$

จากสมการดังกล่าวจึงนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสม ต่อการทำแห้งของพลับกึ่งแห้งพันธุ์ P3 ได้ คือ จากการคำนวณจากสมการเชิงเส้นตรงของความชื้นกับเวลาต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปในการทำแห้งพลับข้างต้น ทำให้ทราบว่าเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจนมีความชื้นเป็นร้อยละ 30 คือใช้เวลาในการทำแห้งนาน 63.617 ชั่วโมง

ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการเพื่อหาน้ำหนักสุดท้ายในการทำแห้งได้คือ

$$1/(\text{น้ำหนัก ; กรัม}) = 0.0006 + 2.3813 \times 10^{-5}(63.617)$$

เพราะฉะนั้นน้ำหนักสุดท้ายในการทำแห้งของพลับพันธุ์ P4 เพื่อให้มีความชื้นร้อยละ 30 คือ 472.83 กรัม ในการทดลองได้ใช้พลับในการทำแห้ง 8 ผล ดังนั้นน้ำหนักเฉลี่ยของพลับต่อ 1 ผลคือ $1533/8 = 191.63$ กรัม ซึ่งการทำแห้งของพลับพันธุ์ P4 ให้มีความชื้นเป็นร้อยละ 30 ต่อ 1 ผลนั้นต้องทำแห้งจนกระทั่งมีน้ำหนักเป็น 59.11 กรัม แต่อย่างไรก็ตามเวลาในการทำแห้งที่ได้นั้น คงเป็นเพียงแนวทางในการนำไปปฏิบัติจริง เพราะว่าในตู้อบลมร้อน ในระดับอุตสาหกรรม จะมีความเร็วลม ตลอดจนอุณหภูมิในตู้ที่ไม่คงที่ เหมือนกับเครื่องมือในระดับ Pilot scale การจัดเรียงและขนาดของผลพลับที่แตกต่างกัน ก็จะส่งผล ในเวลาในการทำแห้งนั้นแตกต่างกันบ้างพอสมควร

สรุปผลการทดลอง

การทำแห้งปลั๊กแห้งได้ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งช่วง 24 ชั่วโมงแรก ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะทำแห้งต่อที่อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส จนกระทั่งปลั๊กมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 ทั้งนี้เวลาในการทำแห้งของปลั๊กพันธุ์อัส (P3) คือ 60 ชั่วโมง 34 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์ปลั๊กแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30 โดยการทำแห้งของปลั๊กพันธุ์ P3 ให้มีความชื้นเป็นร้อยละ 30 ต่อ 1 ผล (100.75 กรัม) นั้นต้องทำแห้งจนกระทั่งมีน้ำหนักเป็น 31.83 กรัม และเวลาในการทำแห้งของปลั๊กพันธุ์นูชิน (P4) คือ 77 ชั่วโมง 37 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์ปลั๊กแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30 โดยการทำแห้งของปลั๊กพันธุ์ P4 ให้มีความชื้นเป็นร้อยละ 30 ต่อ 1 ผล (191.63 กรัม) นั้นต้องทำแห้งจนกระทั่งมีน้ำหนักเป็น 59.11 กรัม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่ได้สนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้มา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. สายพันธุ์ปลั๊กที่เหมาะสมต่อการผลิตปลั๊กแห้ง. วารสารเกษตร. 8 (1) : 11-21.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. อาหารกึ่งแห้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
- สมบัติ ขอทวิวัฒนา. 2529. กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- Davies, R., G.G. Birch, and K.J. Parker, 1976. Intermediate Moisture Foods. Applied Science Publishers, Ltd., London.
- Deman, J.M. 1990. Principle of Food Chemistry. 2nd edition, AVI Book, London.
- Fellow, P.J. 1990. Food Processing Technology : Principal and Practice. 2nd edition, Ellis Horwood, West Sussex.
- Potter, N.N. 1968. Food Science : Food Dehydrate and Concentration. AVI publishing .Westport, Connecticut.
- Seow, C.C., T.T. Teng, and C.H. Quah. 1988. Food Preservation by Moisture Control. Elsevier Applied Science, London and New York.
- Walonic, D.S. 1987. Stat-Packets. Walonick Associates Inc. Minneapolis, MN.
- William, J.C. 1976. Chemical and non-enzymic changes in intermediate moisture foods. p. 100-120. Edited by Birch, G.G., Davies, R., and Parker, K.G. In: Intermediate Moisture Foods. Applied Science, London.