บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 กล้วยหอมทอง

กล้วยเป็นไม้ล้มลุกในสกุล *Musa* วงศ์ *Musaceae* คุณสมบัติเด่นที่ทำให้กล้วยเป็นพืชที่ยอมรับกันว่ามีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศคือ นอกจากจะเป็นพืชที่สามารถปลูกได้แทบทุกพื้นที่ของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นที่ราบลุ่มหรือที่ดอนแล้ว ยังเป็นพืชที่มีผลผลิตออกสู่ตลาดได้ตลอดทั้งปี นอกจากนี้คุณสมบัติของกล้วยที่เด่นเหนือกว่าผลไม้ชนิดอื่นก็คือ กล้วยสามารถใช้รับประทานได้หลายรูปแบบ เช่น ผลสด ปรุงเป็นอาหาร หรือแปรรูป (สณทรรศน์, 2541) และกล้วยยังมีคุณค่าทางอาหารที่สูง อุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินซี

กล้วยหอมเป็นผลไม้เมืองร้อนที่สามารถปลูกได้เกือบทุกประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น สำหรับประเทศไทยสามารถที่จะปลูกกล้วยหอมได้ทั่วทุกภาคของประเทศ โดยในปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกกล้วยหอมทั้งสิ้นประมาณ 140,000 ไร่ (สมศักดิ์, 2541)

กล้วยหอมทอง [*Musa* (AAA Group) 'Kluai Hom Thong' กลุ่มย่อย Gros Michel] ชื่ออื่นๆ กล้วยหอม ชื่อสามัญ Hom Thong Banana มี Genus และ Species คือ *Musa X paradisiaca* กล้วยหอมทองมีลำต้นเทียมสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีกเส้นกลางใบสีเขียวก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุกจะเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีส้มอ่อนๆ กลิ่นหอม รสหวาน (เบญจมาศ, 2538)

2.1.1 ขั้นตอนในการสุกของกล้วย

กล้วยเป็นผลไม้ประเภท Climacteric (Biale, 1960) เมื่อผลสุกจะมีการหายใจเพิ่มขึ้นและมีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้น และยังมีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ความแน่นเนื้อลดลง มีการเปลี่ยนสีผิวและสีเนื้อ เกิดกลิ่นและรสชาติ ทำให้กล้วยสุกมีคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการรับประทาน (Marriott, 1980)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

CSIRO (1972) ได้แบ่งขั้นตอนในการสุกของกล้วย หลังจากตัดมาบ่มดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิดๆ

ระยะที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

ในช่วงการสุกของกล้วยจะทำให้คุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะแป้งซึ่งมักจะมีมากตอนผลกล้วยดิบจะเริ่มลดลง และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ในกล้วยกินได้ที่มีโครโมโซม AA, AAA เช่น กล้วยหอม กล้วยไข่ ปริมาณของแป้งจะลดลงอย่างมากเมื่อกล้วยสุก โดยจะเริ่มลดเมื่อกล้วยเริ่มมีการเปลี่ยนสี สำหรับปริมาณของกรดตั้งแต่ดิบจนสุกจะค่อนข้างต่ำ แต่กล้วยที่มีโครโมโซม ABB ปริมาณแป้งลดลงแต่ไม่เท่ากล้วยในกลุ่มแรก ความหวานมากขึ้นแต่ไม่เท่ากล้วยในกลุ่มแรกเช่นกัน แต่ปริมาณกรดมีค่อนข้างสูง เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุก จะมีแป้งมากเมื่อดิบ และแม้สุกแล้วปริมาณแป้งก็ยังมีมากอยู่จึงทำให้เกิดความเหนียวและมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย (เบญจมาศ, 2538)

2.1.2 มาตรฐานของกล้วย

การกำหนดมาตรฐานของกล้วยในแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกัน ส่วนมากจะใช้วิธีวัดเส้นรอบวง และความยาวของผล สิ่งที่เหมือนกันในแต่ละประเทศ คือ กล้วยที่มีมาตรฐานดีหรือเกรดหนึ่ง จะต้องมีคุณภาพดี ผิวสะอาดไม่มีโรคแมลงทำลาย และแก่จัด โดยเบญจมาศ (2538) ได้รายงานว่า USDA Marketing Bulletin ฉบับที่ 13 ได้กำหนดคุณภาพกล้วยที่ดี คือ จะต้องมีเนื้อแน่น สีสดใส ไม่มีรอยช้ำหรือกระทบกระเทือน และไม่มีโรคแมลง มีรสชาติดีเมื่อสุกหรือผิวเหลืองทั่วกันหมด และเริ่มมีจุดสีน้ำตาล

องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมดังแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักสดผลสุก (เบญจมาศ, 2538)

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยหอมทอง
ความชื้น (กรัม)	77.19
ไขมัน (กรัม)	0.73
โปรตีน (กรัม)	1.82
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	18.42
เถ้า (กรัม)	0.65
เยื่อใย (กรัม)	-
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14.27
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	21.09
เหล็ก (มิลลิกรัม)	8.71
ไทอามีน (มิลลิกรัม)	-
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	-
วิตามินอี (IU)	-
เบต้า-แคโรทีน (ไมโครกรัม)	197.20
วิตามินเอ (IU)	-
กรดแอสคอบิก (มิลลิกรัม)	11.06

หมายเหตุ - คือ ยังไม่ได้วิเคราะห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักสดผลสุก

(USDA Nutrient Database for Standard Reference, 2001)

Musa X paradisiaca

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample count	Standard error
Proximates				
Water	g	74.26	116	0.381
Energy	kCal	92	0	
Energy	kJ	385	0	
Protein	g	1.03	111	0.026
Total lipid (fat)	g	0.48	11	0.135
Carbohydrate, by difference	g	23.43	0	
Fiber, total dietary	g	2.4	0	
Ash	g	0.80	110	0.016
Minerals				
Calcium, Ca	mg	6	5	0.374
Iron, Fe	mg	0.31	108	0.015
Magnesium, Mg	mg	29	103	1.265
Phosphorus, P	mg	20	102	
Potassium, K	mg	396	55	6.356
Sodium, Na	mg	1	61	0.141
Zinc, Zn	mg	0.16	13	0.008
Copper,Cu	mg	0.104	109	0.009
Manganese, Mn	mg	0.152	103	0.015
Selenium, Se	mcg	1.1	19	0.275
Vitamins				
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	9.1	14	0.339
Thiamin	mg	0.045	6	
Riboflavin	mg	0.100	6	
Niacin	mg	0.540	5	0.060
Pantothenic acid	mg	0.260	0	
Vitamin B-6	mg	0.578	4	
Folate, total	mcg	19	11	2.746
Folic acid	mcg	0	0	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักสดผลสุก (ต่อ)

(USDA Nutrient Database for Standard Reference, 2001)

Musa X paradisiaca

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample count	Standard error
Folate, food	mcg	19	11	2.746
Folate, DFE	mcg,DEF	19	0	
Vitamin B-12	mcg	0.00	0	
Vitamin A, IU	IU	81	5	10.050
Vitamin A, RE	mcg,RE	8	5	1.005
Vitamin E	mg,ATE	0.270	0	
Tocopherol, alpha	mg	0.27	0	
Lipids				
Fatty acids, total saturated	g	0.185	0	
4:0	g	0.000	0	
6:0	g	0.000	0	
8:0	g	0.000	0	
10:0	g	0.001	4	
12:0	g	0.002	4	
14:0	g	0.003	4	
16:0	g	0.125	5	
18:0	g	0.006	5	
fatty acids, total monounsaturated	g	0.041	0	
16:1 undifferentiated	g	0.012	5	
18:1 undifferentiated	g	0.027	5	
20:1	g	0.000	0	
22:1 undifferentiated	g	0.000	0	
fatty acids, total polyunsaturated	g	0.089	0	
18:2 undifferentiated	g	0.056	5	
18:3 undifferentiated	g	0.033	5	
18:4	g	0.000	0	
20:4 undifferentiated	g	0.000	0	
20:5 n-3	g	0.000	0	
22:5 n-3	g	0.000	0	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักสดผลสุก (ต่อ)

(USDA Nutrient Database for Standard Reference, 2001)

Musa X paradisiaca

Nutrient	Units	Value per 100 grams of edible portion	Sample count	Standard error
22:6 n-3	g	0.000	0	
Cholesterol	mg	0	0	
Phytosterols	mg	16	0	
Amino acids				
Tryptophan	g	0.012	4	
Threonine	g	0.034	4	
Isoleucine	g	0.033	4	
Leucine	g	0.071	4	
Lycine	g	0.048	4	
Methionine	g	0.011	4	
Cystine	g	0.017	4	
Phenylalanine	g	0.038	4	
Tyrosine	g	0.024	4	
Valine	g	0.047	4	
Arginine	g	0.047	4	
Histidine	g	0.081	4	
Alanine	g	0.039	3	
Aspatic acid	g	0.113	3	
Glutamic acid	g	0.111	3	
Glycine	g	0.037	3	
Proline	g	0.040	2	
Serine	g	0.047	3	
Other				
Caffeine	mg	0	0	
Theobromine	mg	0	0	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 กล้วยตาก

เนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ที่มีการปลูกกันมากและเน่าเสียได้ง่าย การแปรรูปให้เป็นกล้วยตากจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาการเน่าเสียและทำให้เก็บผลผลิตไว้ได้นาน กล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปที่รู้จักกันดีและเป็นที่นิยมรับประทานกันมากในประเทศไทย (เบญจมาศ, 2538) นอกจากนั้นยังได้มีการผลิตส่งขายยังต่างประเทศ เช่น สวิสเซอร์แลนด์ แคนาดา ฝรั่งเศส สิงคโปร์ อเมริกา อังกฤษ และซาอุดิอาระเบีย (เกษร, 2540) วิธีการทำกล้วยตากทำโดยเลือกกล้วยที่สุกงอมปอกเปลือกแล้วเอาตากแดดบนเสื่อ 1-2 แดด แล้วเอาไปคลึงและกดแบน ไม่มีการใส่น้ำตาล ความหวานจะออกมาจากตัวกล้วยเอง (เบญจมาศ, 2538)

ผลไม้แห้ง ความหมายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง พ.ศ. 2532 หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้มาผ่านกรรมวิธีตามความเหมาะสม (ไม่รวมหมักดอง) แล้วนำมาลดความชื้นตามต้องการ โดยกรรมวิธีตามธรรมชาติหรือใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม (ไม่รวมวิธีการทำให้แห้งโดยวิธีเยือกแข็ง) โดยจะมีการปรุงแต่งรสหวานด้วยน้ำตาลหรือไม่ก็ได้

การผลิตกล้วยตากโดยวิธีตากแดดนั้นผู้ผลิตจะประสบปัญหาผลิตผลเปียกชื้นและไม่สามารถทำได้ทันเวลา ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อราและจุลินทรีย์เกินมาตรฐาน (กุลยา, 2540) จึงได้มีการนำเครื่องอบแห้งมาประยุกต์ใช้ในการตากหรืออบกล้วยให้แห้ง ซึ่งจะทำให้ได้กล้วยตากที่สะอาดกว่าการตากจากแสงอาทิตย์โดยตรงมาก เพราะไม่มีแมลงวันตอมหรือฝุ่นละอองเจือปน (เบญจมาศ, 2538)

2.1.4 มาตรฐานกล้วยตาก

ตลาดยุโรปได้กำหนดมาตรฐานกล้วยตากไว้ดังนี้ (เบญจมาศ, 2538)

1. ควรมีสีเหลืองทองสม่ำเสมอ
2. ไม่มีสิ่งปนเปื้อน
3. มีเนื้อแน่น รสหวาน ไม่มีน้ำตาลเคลือบ
4. ไม่มีเชื้อรา แบคทีเรีย และแมลงปะปน

สำหรับขนาดได้กำหนดเกรดตามขนาด ดังนี้

เกรด 1 มีความยาวไม่ต่ำกว่า 4.5 นิ้ว

เกรด 2 มีความยาวไม่ต่ำกว่า 4-4.5 นิ้ว

เกรด 3 มีความยาวต่ำกว่า 4 นิ้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 น้ำในอาหาร

วอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity; a_w) หรือค่ากัมมันตภาพน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นน้ำที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลทางเคมีของอาหาร (Bound water) และยังเป็นอิสระ (Free water) อยู่ในอาหาร ถ้ามีมากจะทำให้อาหารเก็บไว้ได้ไม่นานหรือเรียกว่าอายุการเก็บรักษา (Shelf - life) สั้น ถ้าความชื้นของอาหารน้อยกว่าร้อยละ 50 หรือในอาหารแห้ง โดยทั่วไปควรหาค่าน้ำที่เป็นประโยชน์หรือ a_w จะทำให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารได้ชัดเจนกว่า เพราะถ้าค่าความชื้นในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยก็จะเห็นความแตกต่างของค่า a_w ได้ทันที

อาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง จะมีค่า a_w เท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลงหรือมีปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง ค่า a_w จะลดลงต่ำกว่า 1.0 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารที่มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมน้ำหนักแห้งของอาหาร และค่า a_w แสดงดังรูป 2.1(a)

เมื่ออาหารมีความความชื้นลดลงประมาณ 50% ของทั้งหมด จะทำให้ค่า a_w ลดลงอย่างรวดเร็ว ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และ a_w ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย การเปลี่ยนแปลง a_w จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้งหรือกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying) ดังนั้นเมื่อนำค่า a_w มาเขียนเส้นกราฟกับปริมาณความชื้นในอาหาร จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือกับ a_w กราฟนี้เรียกว่า sorption isotherms ซึ่งมีกระบวนการลดความชื้น (desorption) และการเพิ่มความชื้น (adsorption) เกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ และจะมีผลต่อค่า a_w ด้วย

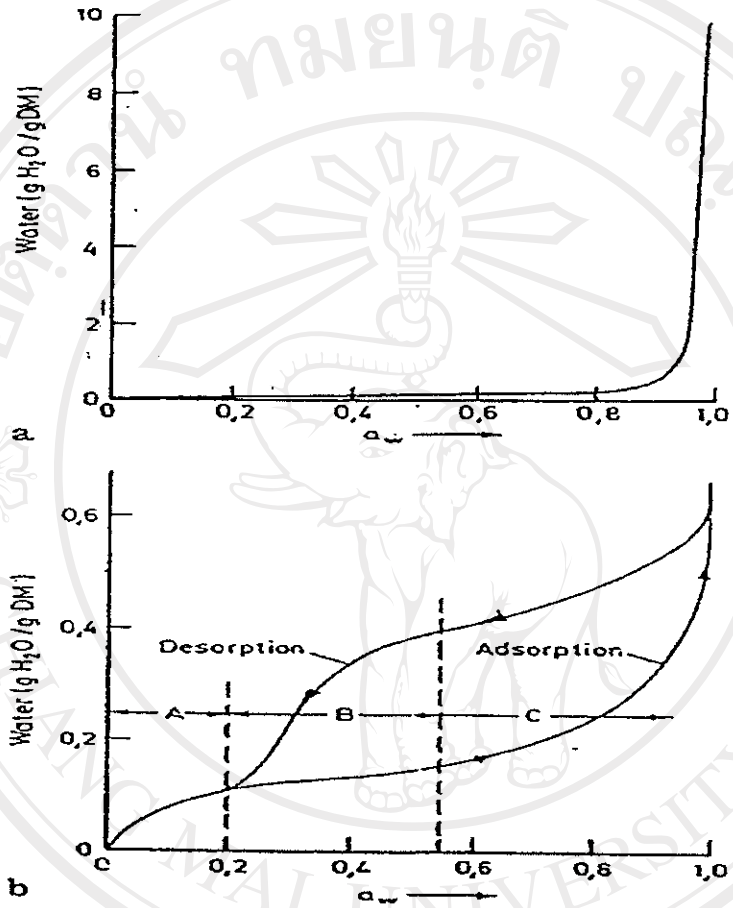
กระบวนการ adsorption และ desorption ไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกันหรือเป็นการเปลี่ยนกลับไปมา แต่มีความแตกต่างกันระหว่าง adsorption และ desorption isotherms ณ ที่ความชื้นหนึ่ง ๆ ของอาหาร ค่า a_w ของ desorption จะต่ำกว่า adsorption หรือ ณ ที่ค่า a_w หนึ่งๆ ปริมาณความชื้นของ desorption จะมากกว่า adsorption เสมอ ดังแสดงในรูป 2.1(b)

กราฟ desorption isotherms เป็นการวิเคราะห์ระดับความแห้งของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นหรือความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ ลดต่ำลงจนถึงจุดสมดุลกับสภาวะแวดล้อม หรือความชื้นของอากาศขณะนั้น ดังนั้น desorption isotherms สำหรับกระบวนการทำแห้ง (Process of drying)

สำหรับกราฟ adsorption หรือ resorption isotherms เป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ adsorption isotherms จะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

product และถ้าอาหารไม่มีความไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น เส้นกราฟจะมีความชันน้อย อาหารประเภทนี้เรียกว่า nonhygroscopic product

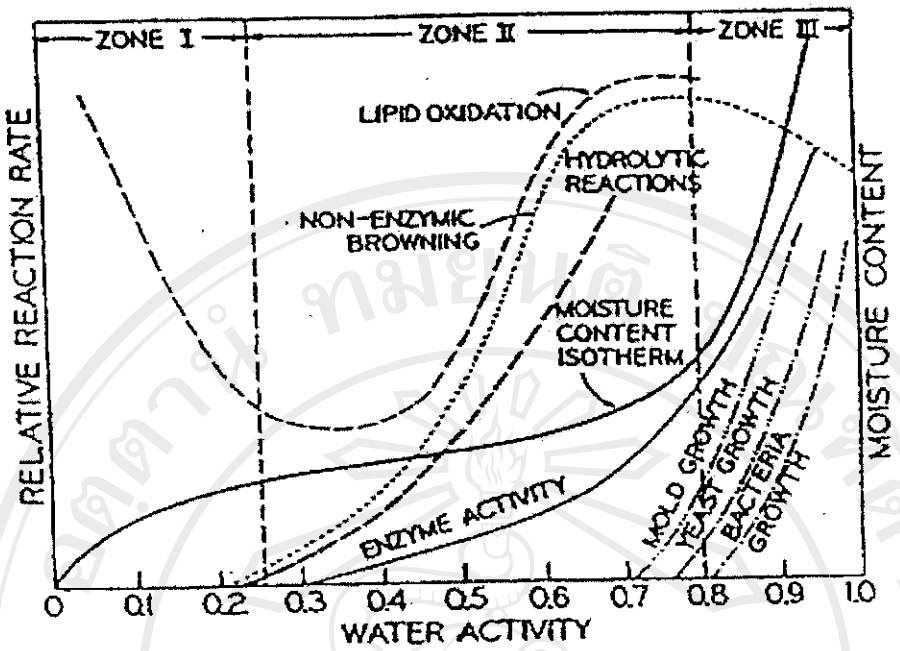


รูป 2.1 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่า a_w และ (b) กราฟ Sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับค่า a_w

ที่มา : Troller and Christian (1978)

อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์จึงลดการเกิดสีน้ำตาลและลดการเหม็นหืน ดังนั้นอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำจึงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์สูง อาหารที่สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดคือ มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในช่วง 0.2 - 0.4 ดังรูป 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.2 แสดงอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผันแปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ที่มา : Fennema (1976)

อย่างไรก็ตามสามารถลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารเพื่อทำให้อาหารเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยการเติมสารที่ดูดน้ำได้ดี (Humectants) ลงในอาหารนั้น ซึ่งได้แก่ เกลือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และแซคคาโรส เป็นสารที่มีแนวโน้มจะใช้เป็นสารดูดน้ำได้ แต่สารบางชนิดมีรสหวานหรือเค็ม การใช้สารเหล่านี้จำนวนมากพอเพื่อดูดน้ำและควบคุมค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อาจทำให้รสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลงไปได้ (ณัฐยา, 2544)

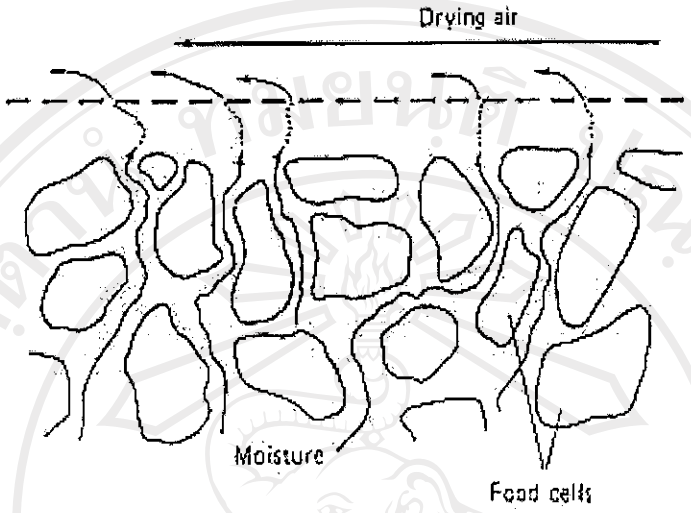
2.3 กระบวนการทำแห้งอาหาร

การทำแห้ง (Drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่า 0.70

การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร การใช้เครื่องอบแห้งจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารของอาหารได้อย่างรวดเร็ว การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งโดยการให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสลมร้อนจะทำหน้าที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำดังแสดงในรูป 2.3 การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อน (สุคนธ์ชื่น, 2539)



รูป 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : Fellow (1997)

ประโยชน์ของการทำแห้ง

1. ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์
2. ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน นอกฤดูกาลหรือแหล่งห่างไกล
3. เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็นให้เปลืองค่าใช้จ่าย
4. ลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่ง
5. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่
6. ให้ความสะดวกในการใช้

2.3.1 กลไกการเคลื่อนที่ของของเหลว (น้ำ) ในผลิตภัณฑ์ (Luikov, 1966)

1. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจาก capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (surface force)

2. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (liquid diffusion)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็กๆ (surface diffusion)

4. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (vapor diffusion)

5. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (thermal diffusion)

6. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (hydrodynamic flow)

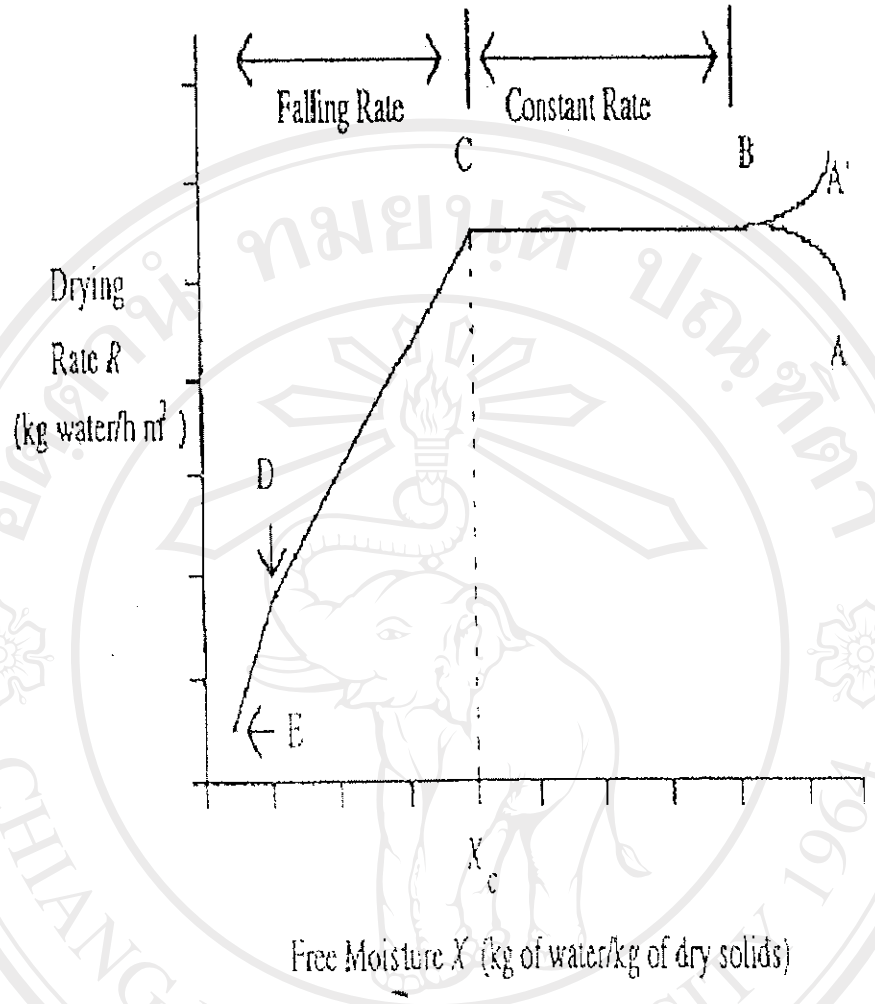
2.3.2 ปริมาณความชื้นสมดุลย์ (Equilibrium Moisture)

ปริมาณความชื้นสมดุลย์คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ความดันไอสมดุลย์กับสิ่งแวดล้อม สำหรับในกระบวนการทำแห้ง ปริมาณความชื้นสมดุลย์ของผลิตภัณฑ์คือ ค่าความชื้นสมดุลย์สุดท้ายของผลิตภัณฑ์เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำแห้ง ซึ่งค่าของปริมาณความชื้นสมดุลย์ขึ้นกับโครงสร้างของอาหารและลักษณะของน้ำที่เกาะกับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์

2.3.3 กราฟอัตราการทำแห้ง (Drying Rate Curve)

เป็นกราฟที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำแห้ง ดังรูป 2.4 ซึ่งสามารถใช้หาเวลาในการอบแห้งที่สภาวะเดียวกันได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.4 Drying rate curve

ที่มา : Barbosa-Canovas, G.V. และ Vega-Mercado, H. (1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูป 2.4 เส้นกราฟแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

ช่วง A → B

หรือ เป็นช่วงของการ warm up ของอุณหภูมิในชิ้นผลิตภัณฑ์

A' → B

ช่วง B → C เรียกว่าช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างผลิตภัณฑ์และอากาศกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำที่เกิดขึ้นเป็นน้ำพวก unbound water เป็นน้ำที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อน การเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเนื่องจาก hydraulic gradient และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำที่ผิวจะเท่ากับอัตราการระเหยที่ผิวของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้เป็นค่าอัตราการทำแห้งได้ ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้คืออุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์และอัตราเร็วของอากาศ

จุด C เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า R ที่จุดนี้เรียกว่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content) เกิดเนื่องจากในตอนแรกผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง เมื่อทำแห้งไปเรื่อยๆ ปริมาณความชื้นที่ผิวลดลงจนกระทั่งน้ำที่บริเวณผิวระเหยไปหมด และความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่ำลงทำให้อัตราการทำแห้งเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถพบการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน

C → D และ D → E เรียกว่าช่วงที่อัตราการทำแห้งลดลง (Falling rate period) การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่ได้เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ แต่เกิดที่ภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์การเคลื่อนที่เป็นลักษณะของการแพร่ (diffusion) ของน้ำหรือไอน้ำที่อยู่ใน pore หรือ capillary ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อน ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ช้ากว่าแบบการพา ทำให้อัตราการทำแห้งช่วงนี้ลดลง ปัจจัยที่ควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้คือความต้านทาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำในผลิตภัณฑ์ และในช่วงนี้อุณหภูมิในของผลิตภัณฑ์จะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ จากกราฟเห็นว่ามีช่วงอัตราการทำแห้งลดลง 2 ช่วง เนื่องจากช่วง C → D ยังคงมีความชื้นอยู่ที่ผิวหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย แต่ที่จุด D ความชื้นที่ผิวระเหยไปหมดทำให้ผิวหน้าแห้งสนิท อัตราการระเหยจึงช้าลงไปอีก

ช่วงอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ตามอัตราการทำแห้งที่เกิดขึ้นดังนี้

1. ช่วงการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลของวัสดุและอากาศเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ คือเกิดขึ้นเฉพาะรอบๆ ผิววัสดุเท่านั้น ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์และความเร็วลม

2. ช่วงการอบแห้งลดลง ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้นแต่เกิดขึ้นภายในเนื้อของวัสดุด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะที่อุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (ไพศาล, 2540)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

การทำแห้งคือการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ดังนั้นปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายน้ำจึงมีผลต่ออัตราเร็วการทำแห้ง ดังนี้ (สุคนธ์ชื่น, 2539)

1. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารที่มีลักษณะเนื้อที่โปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารกลุ่มแรกจึงแห้งเร็วกว่ากลุ่มหลัง อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะ ซึ่งเป็นปัจจัยที่กีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้การทำแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจะแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน ถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมีมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้กระจายของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย

7. ความเร็วของอากาศร้อน

อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ดังนั้นเมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที นอกจากนั้นความเร็วของอากาศร้อนยังทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.3.5 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ (กุลยา, 2540)

1. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหาร

การอบแห้งจะระเหยไล่ความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้งจะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยา Oxidation และถ้ามีการลวกหรือแช่สารเคมีก่อนการอบแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ วิตามินก็จะลดลงอีกและการอบแห้งโดยการตากแดดให้แห้ง วิตามินจะลดลงไปมากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องมืออบแห้ง คือ การอบแห้งโดยวิธีการตากแห้งจะไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆได้ เช่น ความชื้น อากาศ แสงแดด อุณหภูมิ ส่วนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งจะสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวได้

2. ผลการอบแห้งที่มีต่อโปรตีน

อาหารโปรตีนจะเสียคุณค่าไปมากน้อยเพียงไรนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการอบอาหารให้แห้ง ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิสูงโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำทำให้อาหารแห้งโปรตีนจะใช้ทำประโยชน์ได้มากกว่าแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

3. ผลของการอบแห้งที่มีผลต่อคาร์โบไฮเดรต

การทำให้อาหารแห้งมีผลต่ออาหารพวกคาร์โบไฮเดรต จะมีปัญหาเรื่องการเกิดการเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งซึ่งเกิดจาก Non-enzymatic Browning Reaction ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากปฏิกิริยาของกรดอะมิโนในผลไม้กับน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล การป้องกันโดยการใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ การรมควันจะสามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารแห้งได้ แต่อาหารนั้นต้องมีความชื้นต่ำมากๆ อาหารอบแห้งจะเกิดสีน้ำตาลถ้าอาหารนั้นมีความชื้นประมาณ 30%

4. ผลของการอบแห้งที่มีผลต่อไขมัน

ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำ หรือใช้สารเคมีบางชนิดป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้พวกสารกันหืน (Antioxidants) เช่น BHT (Butylated Hydroxy Toluene)

5. ผลของการอบแห้งที่มีผลต่อเอนไซม์

เอนไซม์จะหยุด Activity เมื่อใช้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้งในกระบวนการ Dehydration หรือ Drying ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนทานถึง 204 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการอบแห้งในกระบวนการ Dehydration หรือ Drying จึงต้องลวกน้ำร้อนเสียก่อนหรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่จะนำไปอบแห้ง ปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความชื้นของอาหาร ถ้าความชื้นในอาหารลดลงปฏิกิริยาก็ลดลงด้วย แต่อัตราเร็วของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์และอาหารถ้าความชื้นลดลงต่ำกว่า 1% ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้น

6. ผลของการอบแห้งที่มีต่อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเสียหายหรือเน่า การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดอาหารก็จะไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ความชื้นน้อยกว่า 12% เชื้อราจะเจริญเติบโตได้แต่แบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าความชื้นมากกว่า 30% ขึ้นไป การอบแห้งจึงนิยมใส่เกลือแกงลงในอาหารที่จะอบแห้งเพื่อควบคุมจุลินทรีย์ การลวกน้ำร้อนก่อนอบแห้ง กระบวนการทำต้องสะอาดและเมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อให้ดี ไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. ผลของการอบแห้งที่มีต่อเม็ดสีในอาหาร

อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไป สีของอาหารจะเปลี่ยนไป เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานหรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถัน จะฟอกจางสีทำให้อาหารสีจางลง ดังนั้น พวกผักและผลไม้จึงมีการ fixed สีเสียก่อนอบแห้ง โดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อน เพื่อ fixed สีเสียก่อน จะไม่ทำให้สีผักผลไม้ซีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาล แต่จะทำให้อาหารแข็งกระด้างขึ้น แต่การอบแห้งยังทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า Maillard Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางอินทรีย์สาร เกิดจากกรดอะมิโนผลไม้และน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นและทำให้กลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

2.3.6 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้วและในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ กล่าวคือผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่ถูกทำให้แห้งโดยวิธีการตากแดด เวลาที่ใช้สำหรับการตากแห้งขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของผลิตผล ความหนาของชั้นตากแห้ง และสภาวะอากาศ

แม้ว่าการตากแดดจะได้ผลดี แต่ในบางครั้งเกษตรกรประสบปัญหาผลิตผลเปียกชื้นและไม่สามารถทำให้แห้งทันเวลา ทำให้ผลิตผลเสียหาย เช่น มีเชื้อรา และสารพิษสูงเกินมาตรฐาน เป็นต้น ปัญหาผลิตผลเปียกชื้นมักเกิดในช่วงฤดูฝน ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้เครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้เปล่าสะอาด ปราศจากมลภาวะ แต่การที่จะนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้นก็ต้องมีการลงทุน โดยการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (สมชาติ, 2535)

2.3.7 การแผ่รังสีแสงอาทิตย์

พลังงานจากดวงอาทิตย์มีหลายรูปแบบแต่ที่เป็นที่รู้จักคุ้นเคยกันมาก ได้แก่ แสงและความร้อน รังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่ตลอดปีเป็นค่าความเข้มในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตร รังสีแสงอาทิตย์มีค่า 380 ล้านล้านเมกะวัตต์ เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงโลกจะเหลืออยู่เพียง 170 ล้านเมกะวัตต์ (วิจิตร, 2524)

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด หยดน้ำ และอนุภาคของแข็ง ซึ่งกันแสงแดดที่แผ่เข้ามายังพื้นผิวโลก ส่วนหนึ่งของแสงแดดประมาณร้อยละ 30 จะถูกสะท้อนกลับสู่อวกาศนอกโลกในทันที เรียกพลังงานส่วนที่สะท้อนกลับนี้ว่า อัลเบโด (Albedo) ซึ่งเป็นพลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนที่ไม่มีประโยชน์ในโลก ขณะที่ส่วนที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาในโลกได้ประมาณร้อยละ 70 ก็จะถูกดูดซับ แพร่ หรือสะท้อนกลับโดยชิ้นวัตถุ ดังแสดงในตาราง 2.3

พลังงานที่ตกกระทบถึงผิวโลกจะกระจายมากน้อยต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ช่วงเวลาของปี ระยะห่างจากศูนย์สูตรและอื่นๆ ได้แก่

- องค์ประกอบของบรรยากาศ เช่น ปริมาณเมฆ หรืออนุภาคของแข็ง
- ความหนาของชั้นบรรยากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของพื้นผิวบนโลก มุมของรังสีที่ส่งผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวันและช่วงเวลาของปี
- มุมตกกระทบของรังสีกับพื้นผิวที่ต้องการวัดปริมาณพลังงาน ยิ่งมุมใหญ่หรือยิ่งรังสีแสงอาทิตย์ทำมุมเอียงมากเท่าใด ความเข้มแสงยิ่งน้อย (วิจิตร, 2524)

ตาราง 2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนและดูดซับ

การสะท้อนกระจายและดูดซับ	ร้อยละ
พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับ	100
คลื่นสั้นที่รับแล้วสะท้อนกลับสู่อวกาศทันที (อัลเบโด)	30
คลื่นยาวที่ถูกดูดเก็บโดยบรรยากาศใกล้ผิวโลก	20
แสงส่วนที่ตกมาถึงผิวโลก	50
พลังงานที่ระบายออกสู่บรรยากาศ	100
คลื่นสั้นที่ถูกสะท้อนกลับโดยทันที	30
คลื่นยาวที่โลกแผ่รังสีกลับออกไป	70

ที่มา : วิจิตร (2524)

2.3.8 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Dryer)

โดยทั่วไปเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้อบแห้งซึ่งใส่ตัวอย่างที่ต้องการอบแห้ง และส่วนที่เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศร้อน

แผงรับแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยดูดพลังงานแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และแผงรับแสงอาทิตย์เป็นแผ่นแบนราบ (Flat plate collector) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดพลังงาน (Absorber plate) โดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนให้กับอากาศ และเพื่อประสิทธิภาพในการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์จึงทาแผ่นดูดพลังงานด้วยสีดำด้าน ซึ่งทำให้มีค่าการดูดรังสีสูงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความยาวคลื่นของรังสีต่ำ แต่ให้การส่งออก (Emissivety) ต่ำที่ความยาวคลื่นของรังสีสูง และเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้ความร้อนกระจายภายในจึงต้องมีแผ่นปิดกั้นด้านบน (top cover) เป็นพลาสติกใส พลังงานความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์รับไว้หาได้จาก

$$Q_c = I A_c$$

เมื่อ Q_c = พลังงานความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์รับไว้, k W

I = ความเข้มแสงอาทิตย์, $k W / m^2$

A_c = พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์, m^2 (ธีรชัยและคณะ, 2532)

2.3.8.1 ประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งตามการไหลของกระแสอากาศเป็น 2 แบบคือ

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ (Force convection solar dryer) เครื่องอบแห้งแบบนี้จะใช้พัดลมเป็นตัวขับอากาศให้ไหลภายในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเป็นการสร้างความดันให้เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมระหว่างที่ทางเข้าและทางออก เหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กและใหญ่ ลงทุนมากและสร้างยากกว่า แต่สามารถออกแบบให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างมาก ถ้าต้องมีการอบแห้งจำนานมากๆ ควรมีพัดลมช่วยในการขับอากาศทำให้การหมุนเวียนอากาศเป็นไปด้วยดี ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้พัดลมหรือ Free convection dryer

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ (Free convection dryer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยหลักการการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งและอากาศภายนอกซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น ซึ่งเหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการการลงทุนต่ำ สร้างง่าย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าต่ำเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศขึ้นกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งตามลักษณะการรับพลังงานความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ประกอบกับลักษณะการออกแบบของเครื่อง สามารถแบ่งประเภทได้เป็นดังนี้

1. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้วัตถุใสทำเป็นหลังคา รังสีดวงอาทิตย์จะทะลุผ่านไปยังวัสดุโดยตรง การระเหยน้ำออกจากตัววัสดุเกิดขึ้นเพราะความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกล่อง

2. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วยตัวทำความร้อนด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar air heater) พัดลม (Fan) หรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โบลว์เวอร์ (Blower) และห้องอบแห้ง (Drying chamber) รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวทำอากาศร้อนก่อนแล้วจึงส่งไปยังวัสดุ โดยมีอากาศเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังเก็บ

3. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (Mixed mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้เกิดจากการพัฒนาเอาสองแบบแรกมารวมกัน วัสดุจะได้รับความร้อนสองส่วน คือ

- ได้รับความร้อนจากการถูกแสงโดยตรง
- ได้จากอากาศร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อน

การถ่ายเทความร้อนเกิดตรงจุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือที่ใช้ในการอบและวัสดุที่ต้องการทำให้แห้ง (วัฒนพงษ์, 2534)

2.3.8.2 ตัวรับรังสีทำอากาศร้อน (สมชาติ, 2535)

ตัวรับรังสีที่ต้องการผลิตอากาศร้อนสามารถแบ่งได้หลายประเภท คือ

1. ตัวรับรังสีแบบอัดลม

ตัวรับรังสีแบบนี้ทำด้วยพลาสติกซึ่งอาจมีเพียงชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ ชั้นนอกมักทำด้วยพลาสติกใส ส่วนชั้นในทำด้วยพลาสติกสีดำซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นความร้อน พลาสติกใสมีคุณสมบัติที่ยอมให้รังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้นส่งผ่าน แต่ให้ผลตรงข้ามสำหรับความร้อนซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นยาว หรืออาจยอมให้ผ่านเป็นบางส่วนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก ดังนั้นพลาสติกใสจึงทำให้การสูญเสียความร้อนลดน้อยลง ตัวรับรังสีแบบอัดลมจะแฟบเมื่อไม่มีอากาศไหลและจะพองตัวเมื่อเป่าลมเข้าในตัวรับรังสี ตัวรับรังสีแบบนี้ราคาถูก สามารถพับหรือม้วนเก็บได้เมื่อไม่ต้องการใช้งาน แต่อายุการใช้งานสั้น

2. แบบรูปทรงสามเหลี่ยม

ตัวรับรังสีแบบนี้ทำด้วยฟิล์มพลาสติกใสยึดติดบนโครงเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมภายในมีพลาสติกสีดำทำหน้าที่ดูดกลืนรังสี การทำงานคล้ายกับตัวรับรังสีแบบอัดลม

3. ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (flat plate solar collector)

นิยมใช้มากกว่าแบบอื่นๆ ใช้ในการรับรังสีแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทให้กับของไหลซึ่งของไหลได้แก่ น้ำหรืออากาศ ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบนิยมใช้อย่างแพร่หลาย มีความเหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงคือ 50 – 60 องศาเซลเซียส หรืออาจทำให้สูงถึง 80 - 90 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบที่มีแผ่นใสปิดด้านบน (cover plate) ของตัวรับรังสีมากกว่าหนึ่งชั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวรับรังสีแบบนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

3.1 แผ่นดูดรังสี (absorber) ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่ไหลผ่านไปยังส่วนเครื่องอบแห้ง

3.2 แผ่นปิดใสปิดด้านบน (cover plate) ซึ่งอยู่ชั้นบนสุด ทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อนโดยการไม่ยอมให้รังสีความร้อนส่งผ่านแผ่นปิดใส แต่มีข้อจำกัดคือไม่เหมาะสมในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ข้อดีคือสามารถรับได้ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ไม่ต้องมีกลไกในการบังคับให้ตัวรับรังสีหันเข้าหาดวงอาทิตย์ บำรุงรักษาน้อย คุ้มค่าในการลงทุน

3.3 ฉนวนความร้อนอยู่ส่วนล่างสุดของตัวรับรังสี ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนทางด้านล่างของตัวรับรังสี

ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (สมชาติ, 2540)

1) แบบเปลือยราคาถูกและสร้างง่าย ข้อเสียคือ มีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อความเร็วลมเหนือตัวรับรังสีมาก

2) แบบมีแผ่นใสปิด (cover plate) นิยมใช้มาก ใช้ปิดด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยยอมให้รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าไปถึงแผ่นดูด (absorber) ได้โดยตรง มีประสิทธิภาพสูง มีการสูญเสียความร้อนจากแผ่นดูดสู่บรรยากาศภายนอกลดลงเพราะมีแผ่นใสปิดและแผ่นใสยังป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับแผ่นดูดอีกด้วย

3) แบบมีแผ่นใสปิดและมีชั้นอากาศนิ่ง มีประสิทธิภาพสูงมาก แต่มีความยุ่งยากในการก่อสร้างกว่าแบบอื่น

4) แบบติดตั้งบนเครื่องอบแห้ง มีพื้นที่ติดตั้งประมาณ 2/3 ของพื้นที่ทั้งหมด สามารถลดต้นทุนโดยใช้ผนังเป็นตัวดูดรังสี แล้วปิดด้วยแผ่นปิดใส

5) แบบติดตั้งบนหลังคาและผนังโรงเรือน สามารถลดต้นทุน

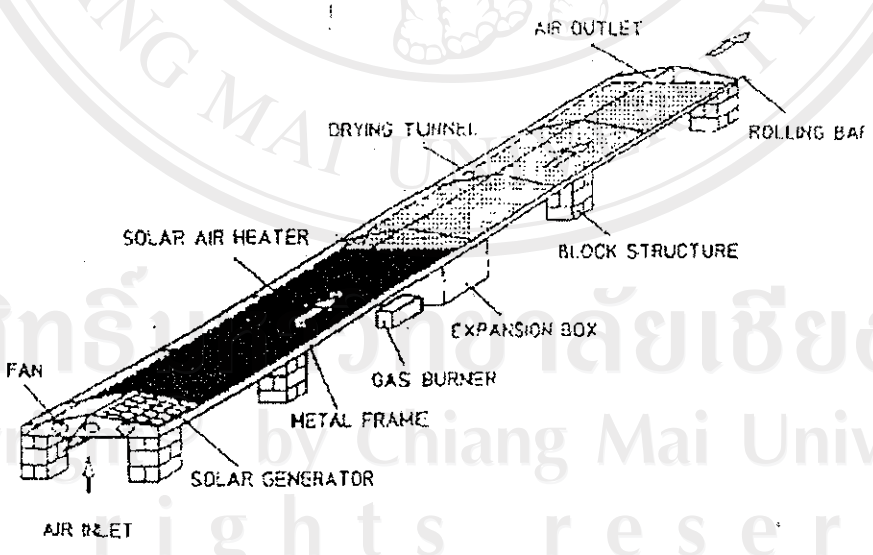
6) แบบตัวรับรังสีและตัวเก็บความร้อน ตัวเก็บความร้อนสร้างจากก้อนหิน ซึ่งทาสีดำด้านที่รังสีตกกระทบ ด้านบนสุดด้วยแผ่นปิดใส อากาศจะไหลผ่านชั้นก้อนหินก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง ตัวเก็บความร้อนจะทำหน้าที่คอยปรับการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่อบแห้งลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.9 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar tunnel dryer) พัฒนาโดย Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics มหาวิทยาลัย Hohenheim, ประเทศเยอรมัน

เป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม คือสามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม ผลิตเพื่อใช้ในครัวเรือน พลังงานที่ใช้เป็นการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมขนาด 70 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1,400 รอบ/นาที อัตราการไหลโดยมวลของอากาศอยู่ในช่วง 0 - 1,360 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ความยาวของเครื่องเท่ากับ 18 เมตร และมีความกว้าง 2 เมตร เหมาะกับพื้นที่เขตร้อนและร้อนชื้นที่ห่างไกลไฟฟ้าและพลังงานรูปแบบอื่น ไฟฟ้าที่ต้องการเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมเท่านั้น แต่เครื่องนี้ออกแบบให้ใช้พลังงานจากแผง Solar cell จึงไม่ต้องการพลังงานที่สิ้นเปลืองรูปแบบอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดจะลดเวลาการอบแห้งได้ถึงร้อยละ 50 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าทั้งทางด้าน สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษานานกว่า (Schirmer และคณะ, 1995)

เครื่องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นหลังคาพลาสติกคลุมส่วนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบและส่วนอุโมงค์อบแห้ง อากาศเย็นจะถูกดูดเข้าเครื่องโดยพัดลมผ่านส่วนสะสมความร้อนหรือ Heating area จากนั้นส่งไปยังอุโมงค์อบแห้งหรือ Drying area การไหลของอากาศร้อนจะผ่านชิ้นตัวอย่างอาหารทั้งด้านบนและด้านล่าง จากนั้นอากาศชื้นจะออกทางด้านปลายเครื่อง ดังแสดงในรูป 2.5



รูป 2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ที่มา : Schimer และคณะ (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Heating area	ส่วนพื้นที่ที่ทาสีดำ คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 14 ตารางเมตร
Drying area	ปูด้วยตาข่ายเพื่อให้อากาศไหลผ่านด้านล่างของตัวอย่าง คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 20 ตารางเมตร (Schimer และคณะ, 1995)

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

Fan	คือ พัดลมดูดอากาศเข้าสู่เครื่องอบแห้งมี 3 ตัว
Air inlet	คือ ช่องที่อากาศถูกดูดเข้าเครื่องโดยพัดลมดูดอากาศ
Solar generator	คือ แผง Solar cell ที่ให้พลังงานขับเคลื่อนแก่พัดลม
Metal frame	คือ โครงโลหะ
Gas burner	คือ ส่วนของพลังงานเสริมจากก๊าซกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ
Solar air heater	คือ ส่วนที่ทาสีดำใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์และให้ความร้อนแก่อากาศที่ผ่านไปยังอุโมงค์อบแห้ง
Drying tunnel หรือ	
Drying area	คือ ส่วนอุโมงค์อบแห้ง ใช้วางอาหารที่ต้องการอบแห้ง
Air outlet	คือ ทางออกของอากาศชื้น
Rolling bar	คือ ไม้หมุนโลหะ ใช้เปิดปิดส่วนอุโมงค์อบแห้งโดยการหมุนแผ่นพลาสติกที่คลุมเครื่องขึ้นลง
Block structure	คือ ส่วนฐานที่ก่อด้วยอิฐใช้วางเครื่องเหนือพื้นดิน ป้องกันการนำความร้อนจากเครื่องไปสู่พื้น

2.3.9.1 การเลือกใช้อุปกรณ์ (Janjai, 1999)

Absorber	1. ดูดกลืนรังสีได้สูง 2. ทนความร้อนสูง 3. มีการกระจายต่ำ 4. นำความร้อนสูง 5. ทนต่อการกัดกร่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. จับฝุ่นน้อย
7. ใช้ได้นาน

ฉนวน
1. นำความร้อนต่ำ
2. ทนความร้อน
3. ดูดน้ำน้อย
4. ป้องกันแมลงและสัตว์แทะ
5. ทนไฟ

Cover
1. ทนร้อนและสามารถลดการสูญเสียความร้อน
2. ยอมให้รังสีแสงอาทิตย์ผ่านได้สูง
3. ยอมให้รังสีอินฟราเรดผ่านได้ต่ำ
4. ทนต่อการเสื่อมเสียจากรังสี UV หรือฝุ่น
5. ทนต่อแรงฉีกขาดจากลม หิมะ ลูกเห็บ
6. ทนน้ำและอากาศ
7. ง่ายและปลอดภัยในการติดตั้ง
8. ทำความสะอาดง่าย
9. น้ำหนักเบา

2.3.9.2 ความต้านทานการไหลอากาศ

เนื่องจากใช้พัดลมเป็นตัวขับอากาศซึ่งอาจมีความต้านทานการไหลขึ้นอยู่กับ

1. รูปร่างของ solar air heater
2. ชนิดของ solar air heater
3. ความเร็วลม
4. อัตราการไหล
5. ความขรุขระของ collector และ drying chamber

2.3.9.3 ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ข้อดี
1. ใช้ได้ทั้งพื้นที่แล้งและชื้น
2. ป้องกันอากาศ แมลง ฝุ่น นกและสัตว์
3. ปลอดภัยสำหรับการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. สูญเสียมวลน้อยมาก

5. ใช้แรงงานน้อย

6. คุ้มค่าการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

7. เวลาคืนทุน 1 - 5 ปี

ข้อจำกัด

1. เครื่องอบแห้งส่วนใหญ่ยังคงอาศัยการลงทุนค่อนข้างสูง และมีระยะเวลาควบคุมนาน (วัฒนา, 2541)
2. ควบคุมสภาวะการอบแห้งยากกว่าเครื่องอบเชิงกล
3. ถ้าอาหารเป็นชนิดทนแสงไม่ได้ ต้องปิดด้วยแผ่นปิดสีดำ

2.3.10 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดหมุน (Rotary tray dryer)

2.3.10.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดหมุน

เครื่องอบแห้งแบบถาดมีลักษณะเป็นตู้ทรงสูงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีส่วนประกอบดังนี้

1.ตู้เหล็กฉนวนทรงสูง รูปร่างสี่เหลี่ยม ภายในวางถาดอาหารที่จะอบแห้งได้ 5 – 8 ชั้น (ในอุตสาหกรรมอาจใช้ตู้ใหญ่มีจำนวนชั้นเป็นสิบๆ ชั้น)

2.ถาดที่ใช้วางอาหารควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิม บรรจุอาหารชิ้นบางๆ ขนาด 2-6 เซนติเมตร

3.มอเตอร์ (เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อน)

4.ขดลวดร้อนที่ให้ความร้อนสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส (อาจใช้ไอน้ำหรือแก๊สเป็นแหล่งของความร้อนก็ได้)

5.เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ (ทั่วไปควบคุมอุณหภูมิ 50 – 70 องศาเซลเซียส) หากอุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส อาหารจะแห้งเร็วเกินไป โปรตีนตกตะกอนและอาหารจะมีสีคล้ำ

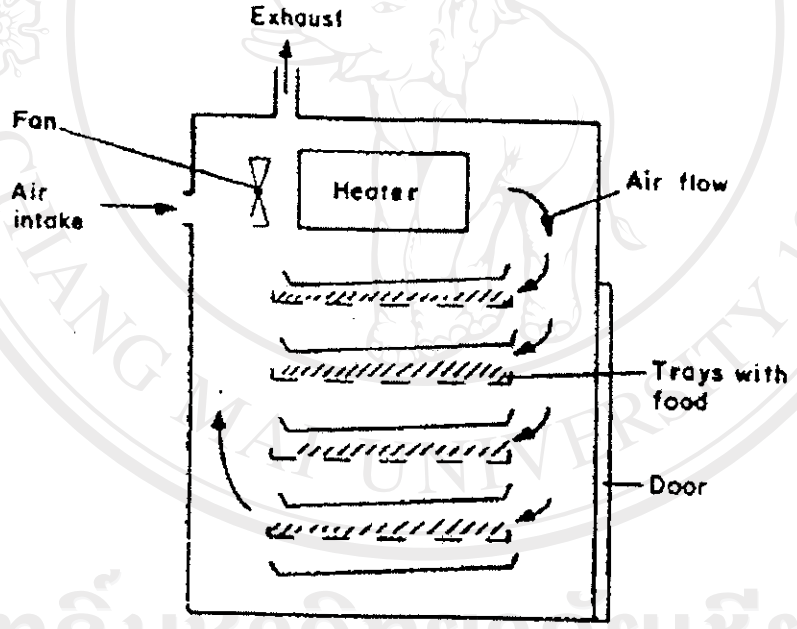
2.3.10.2 หลักการทำงาน (รุ่งนภา, 2535)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ เป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่บรรยากาศ จะใช้ถาดหรือวัตถุอื่นที่สามารถวางผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้สัมผัสกับอากาศร้อน ถาดที่วางผลิตภัณฑ์จะอยู่ภายในตู้ (cabinet) บุฉนวนหรือห้องปิด ดังรูป 2.6 พัดลมจะเป็นตัวดูดอากาศจากภายนอกผ่านแหล่งความร้อนเข้ามาในตู้ อากาศร้อนจะถูกบังคับให้หมุนเวียนและกระจายผ่านถาดอาหาร การหมุนเวียนของอากาศจะเป็นในแนวนอนขนานกับถาดใส่อาหารหรือในแนวดิ่งผ่านทะลุใส่อาหาร ความเร็วของลมร้อนที่นิยมใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวนอนคือ 2 - 5 เมตร/วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งนิยมใช้ปริมาณอากาศร้อน 0.5 - 1.25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ต่อตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดของถาด ซึ่งทำให้ได้อากาศที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นและไหลออกอีกด้านหนึ่งของตู้อบ ความชื้นในอากาศที่เพิ่มขึ้นเป็นความชื้นที่ระเหยออกมาจากอาหาร ปกติการเคลื่อนที่ของอากาศเหนือผิวผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่อนข้างสูงเพื่อให้แน่ใจว่าการถ่ายเทมวลและความร้อนดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพสูง แหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นการเผาไหม้ของก๊าซ ไอน้ำ หรือจากขดลวดให้ความร้อน

เครื่องมือแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายในการสร้างและการบำรุงรักษาต่ำและมีความยืดหยุ่นของการใช้งานสูง ในการใช้งานอาจใช้ตู้เดี่ยวหรือเป็นกลุ่ม และนิยมใช้ในการทำแห้งผักและผลไม้ นอกจากนั้นยังนิยมใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็กหรือในโรงงานขนาดเล็ก



รูป 2.6 การทำงานของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดหมุน
ที่มา : Karel (1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.10.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

อุณหภูมิ อัตราเร็วในการไหลและการกระจายของลมร้อนภายในตู้อบเป็นปัจจัยสำคัญ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับการอบแห้งผักผลไม้แต่ละชนิดควรได้มาจากการทดลองเพื่อให้ได้การอบแห้งที่รวดเร็วและไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ อัตราเร็วในการไหลของลมขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและขนาดกำลังของพัดลมในการอบแห้ง ผักผลไม้นั้นเราต้องการให้ได้ความเร็วลมที่มาก แต่ต้องไม่ทำให้อาหารแห้งปลิวออกไปกับกระแสลมและควรไหลแบบอลวน หากได้สองอย่างนี้ประกอบกันจะทำให้สามารถดึงเอาน้ำออกจากอาหารได้ปริมาณมากและเร็วขึ้น และยังช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงได้ด้วย การกระจายของลมร้อนควรเป็นอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงทุกส่วนภายในตู้อบ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดจุดบอดซึ่งจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ปัญหาการเกิดจุดบอดในตู้อบนั้นสามารถแก้ไขได้โดยการติดบัฟเฟล ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กบางๆ ตามชั้นของถาดเพื่อช่วยกระจายลมร้อนให้ทั่วถึงยิ่งขึ้น นอกจากนี้เรายังสามารถปรับทิศทางของกระแสลมภายในตู้อบเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการอบ โดยการใช้ถาดทึบเป็นตัวกำหนดทิศทาง แต่ข้อเสียของการปรับทิศทางลมโดยวิธีนี้คือการสูญเสียพื้นที่สำหรับการวางถาดอาหาร ทำให้อัตราการผลิตลดลง

นอกจากนี้คุณสมบัติของวัตถุดิบที่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบถาดเป็นการอบที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับพาความชื้นออกจากอาหารค่อนข้างสูง ดังนั้นวัตถุดิบจึงควรมีความคงตัว ไม่ไวต่อความร้อน มีการเปลี่ยนแปลงของสีและโครงสร้างหลังการอบน้อยที่สุด เช่นผักผลไม้ที่ไวต่อความร้อนหรือต้องการให้กลิ่นที่ระเหยได้ง่ายคงอยู่ จะต้องอบที่อุณหภูมิต่ำๆ จะไม่เหมาะกับการใช้เครื่องอบแห้งชนิดนี้ วัตถุดิบที่มีความเหมาะสมกับเครื่องอบแห้งแบบถาดควรเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าการตลาดเช่น กล้วย สับปะรด มะเขือเทศ เป็นต้น (สมบัติ, 2544)

2.3.10.4 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่อง

เครื่องอบแห้งแบบถาดมีข้อเสียคือ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอที่ตำแหน่งต่างๆ กันภายในระบบ ดังนั้นจึงต้องหมุนถาดของผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยในการปรับปรุงการอบแห้งให้สม่ำเสมอขึ้น ปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่อยู่ใกล้กับทางเข้าออกของอากาศจะเกิดได้เร็วกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ใต้กระแสลมจะสัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นสูงกว่าทำให้แห้งช้ากว่า ดังนั้นการหมุนถาดหรือการกลับทิศทางการไหลของลมจะช่วยปรับปรุงกระบวนการอบแห้งให้สม่ำเสมอขึ้น เนื่องจากจะสัมผัสกับอากาศที่เวลาต่างๆ กันระหว่างช่วงการอบแห้ง

การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบถาดสามารถทำได้โดยการติดตั้งระบบสุญญากาศภายในห้อง ระบบการทำแห้งนี้จะใช้สุญญากาศเพื่อรักษาความดันไอไว้ในที่ว่างรอบๆ ผลิตภัณฑ์ให้ต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่สุดเท่าที่จะต่ำได้ การลดความดันเช่นนี้จะทำให้อุณหภูมิที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ระเหยลดลงด้วย ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น (รุ่งนภา, 2535)

2.3.10.5 การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

หากการอบแห้งไม่มีการควบคุมที่ดีทั้งด้านอุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบ และความหนาของชั้นอาหารที่บรรจุอยู่บนถาด ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จะมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ เกิดการเสื่อมคุณภาพ เช่น สีเปลี่ยนไม่เป็นที่ต้องการ เกิดการหดตัวของอาหาร (Shrinkage) เกิดการแข็งของผิว (Case hardening) และประสิทธิภาพการคืนรูปไม่ดี อย่างไรก็ตามปัญหาเหล่านี้แก้ไขได้โดยการปฏิบัติขั้นต้น (Pretreatment) เช่น การแช่ในสารเคมีเพื่อให้สีของผลิตภัณฑ์คงเดิมมากที่สุด หรือการทำแห้งโดยวิธีออสโมติก (Osmotic dehydration) เพื่อลดปริมาณความชื้นเริ่มต้นของอาหารก่อนการอบแห้ง ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง (พิไลรัก, 2541) ส่วนการหดและการเกิดเปลือกแข็งเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ไม่ง่ายนัก การหดตัวของอาหารจะทำให้พื้นที่สำหรับการระเหยน้ำออกจากอาหารน้อยลงทำให้อาหารแห้งช้า การแข็งของเปลือกนอกเกิดจากการแพร่ของสารละลายมายังผิวของอาหาร แต่ไม่สามารถระเหยออกไปได้ ทำให้ถูกกักไว้ที่ผิวด้านในของชิ้นอาหาร ทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ

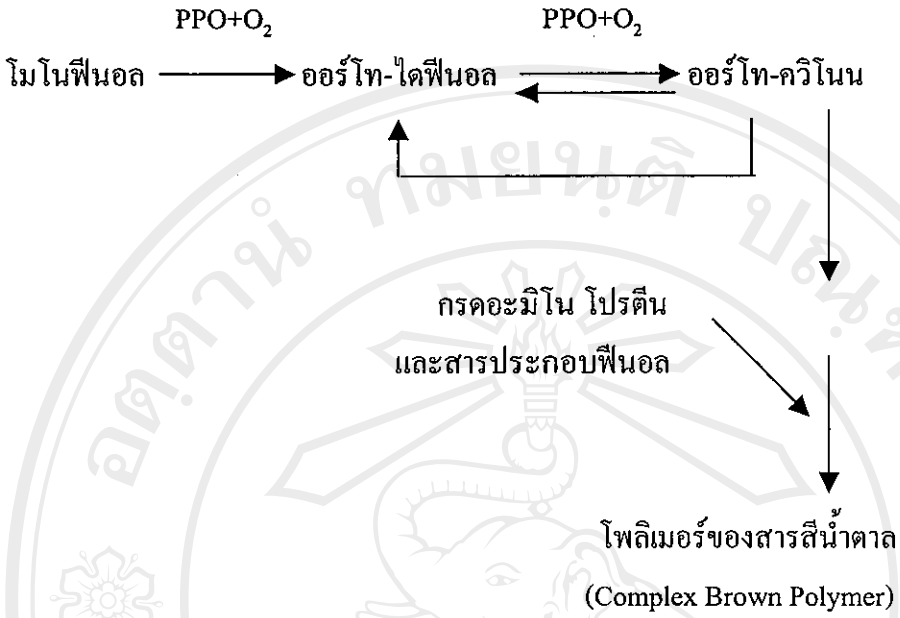
2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยอบเกิดได้จากปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่อกล้วยมีรอยตำหนิหรือเสียหายซึ่งอาจเกิดจากรอยช้ำ รอยปอก หั่น แช่แข็ง หรือเป็นโรค ส่วนของเนื้อเยื่อที่มีตำหนิมีเอนไซม์ที่ยังคงแอกทีฟอยู่เมื่อสัมผัสกับอากาศจะเกิดเป็นสีน้ำตาล (รัชนี, 2536) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอล เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชัน ได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (o-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อได้เป็นออร์โท-ควิโนน (o-quinone) เอนไซม์ PPO อาจมีชื่อเรียกว่า โพลีฟีนอลเลส (polyphenolase) ฟีนอเลส (phenolase) ไทโรซิเนส (tyrosinase) ออร์โท-ไดฟีนอล ออกซิเดส (o-diphenol oxidase) หรือ แคตีคอลออกซิเดส (catechol oxidase) ควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาลโดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ดังรูป 2.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO
ที่มา : Sapers (1993)

หลักการของวิธีการวัดเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

การวัดความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ PPO มีหลักการดังนี้

1. โดยการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของแคตีคอล
2. โดยวิธี Colorimetic วัดปริมาณของเพอพูโรแกลลิน (purpurogallin) ที่เกิดขึ้นจากไพโรแกลลอล (pyrogallol) ภายในเวลา 5 นาที
3. โดยวิธี Chronometric วัดอัตราการสูญเสียวิตามินซี เนื่องจากออกซิเดชันโดยออร์โท-เบนโซควิโนน ที่เกิดจากแคตีคอล
4. โดยวัดอัตราการเกิดสีจากสารลูโค-2,6-ไดคลอโรเบนซีโนนอินโด-3'-คลอโรฟีนอล (leuco-2,6-dichlorobenzenoneindo-3'-chlorophenol) ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออโท-เบนโวควิโนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

การควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ทำได้หลายวิธี ซึ่งจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร

1. ใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ PPO หรือฟีนอเลสโดยการลวกด้วยไอน้ำ
2. ใช้สารเคมียับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO หรือฟีนอเลส
3. เติมสารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิค
4. กำจัดออกซิเจน
5. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสับสเตรตที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

2.4.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ในกล้วยอบ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.4.2.1 ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน (Caramelization)

ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันจะเกิดขึ้นเมื่อ ไม่มีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ (รัชนี, 2536) และสารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น ปฏิกิริยานี้เป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลให้แยกออก (Thermolysis) และเกิดโพลีเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล เช่น การเผาน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีพันธะคู่และเป็นวงแหวน (Anhydro ring) มีความข้นหนืดและมีสีเข้มขึ้น ผันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้ (นิธิยา, 2543)

2.4.2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดขึ้นเมื่อมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ โดยเฉพาะ 1°และ 2°เอมีน (รัชนี, 2536) ปฏิกิริยานี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตนกับสารประกอบกรดอะมิโน ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ให้สีได้และยังทำให้อาหารมีกลิ่นรสเปลี่ยนไปด้วย (จินตนา, 2534) สารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนเป็นสารพวกคาร์บอนิล ได้แก่คาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลมากที่สุด หรือสารที่เกิดจากการออกซิเดชั่นของน้ำมันและไขมันก็ได้ ส่วนสารประกอบกรดอะมิโน ได้แก่ กรดอะมิโนโดยเฉพาะไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่รวมกับคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดสีน้ำตาลมากที่สุด ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อนมีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) และมีการ

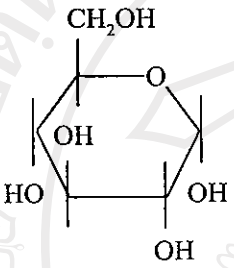
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รวมตัวกัน (Condensation) ซึ่งพัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ

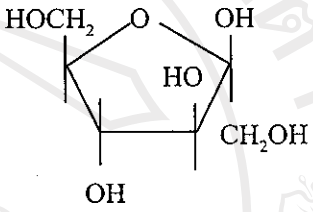
น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugars)

น้ำตาลรีดิวซ์ คือน้ำตาลที่มีหมู่อัลดีไฮด์หรือคีโตนอิสระ ซึ่งเป็น Functional group เหลืออยู่ในโมเลกุล ทำให้สามารถรีดิวซ์สารที่เข้าทำปฏิกิริยา ส่วนน้ำตาลที่ไม่มีสมบัติดังกล่าว เรียกน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (รุ่งนภา, 2538)

ตัวอย่างโครงสร้างแบบวงแหวนของน้ำตาลรีดิวซ์

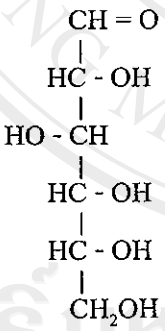


α-D-Glucose

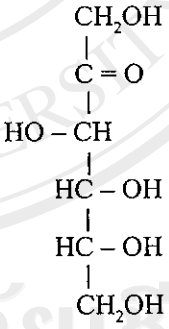


β-D-Fructose

ตัวอย่างโครงสร้างแบบเส้นตรงของน้ำตาลรีดิวซ์



D-Glucose



D-Fructose

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน

2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (Imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ ซึ่งเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldoseamine) หรือคีโตสเอมีน (Ketoseamine) เรียกว่า Amadori product ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมี pH 5 หรือต่ำกว่า

3. เกิดปฏิกิริยา Enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคีโตสเอมีนหรือไดอะมิโนชูการ์

4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้อนุพันธ์ของฟูแรน (Furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซสอนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ หรือ HMF

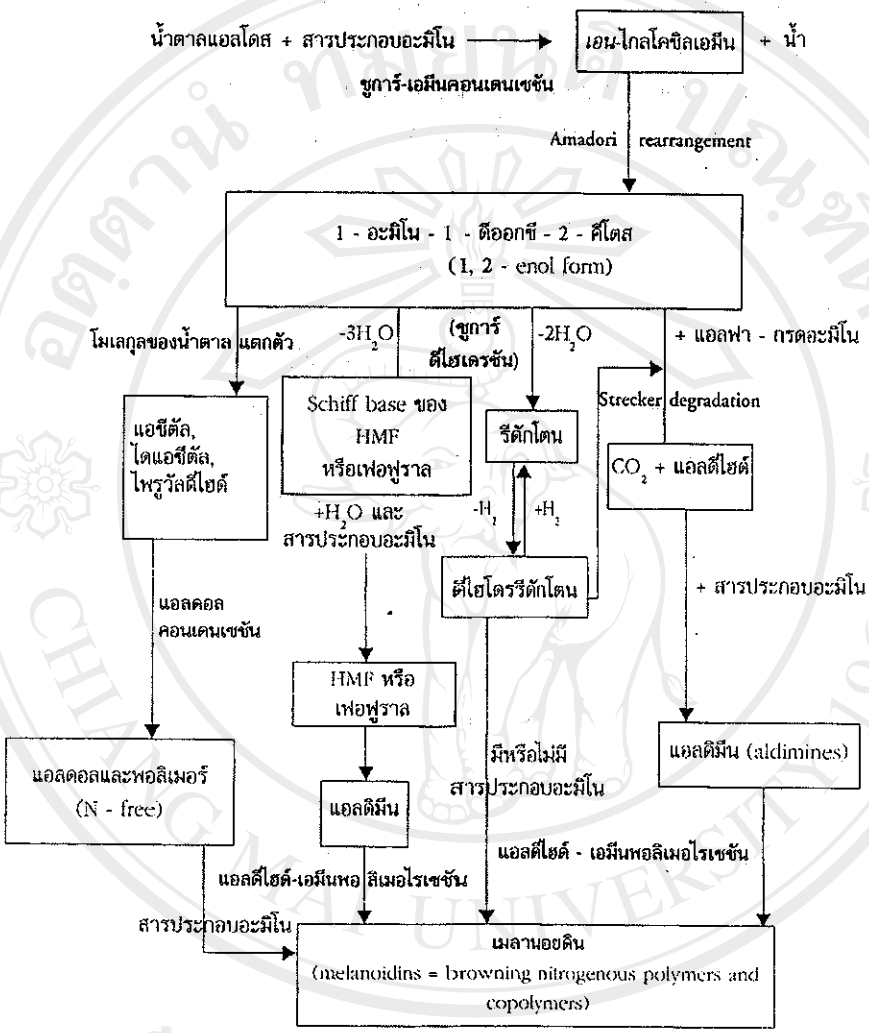
5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดโพลีเมอไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่าเมลานอยดิน (Melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (Mole per mole reaction)

ดังนั้นโปรดักต์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงมีทั้งโพลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำ และพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ อยู่รวมกันและได้รับความร้อน ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือ ทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ซึ่งทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย (นิธิยา, 2543)

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ดังแสดงในรูป 2.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แผนภูมิแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์
(Maillard Reaction)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 2.8 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

ที่มา : Taoukis และ Labuza (1996)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

1. ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิล สารประกอบคาร์บอนิลที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่าย จึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้องเช่น ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้อย่างรวดเร็ว น้ำตาลเพนโตสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเฮกโซสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นไดแซคคาไรด์ สำหรับน้ำตาลนอนรีดิวซ์ เช่น น้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาได้ภายหลังถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลรีดิวซ์แล้ว สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์แต่ละชนิด น้ำตาลฟรุกโตสเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ส่วนน้ำตาลแอลโดเฮกโซสการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด น้ำตาลแมนโนส > กาแลคโตส > กลูโคส

2. ชนิดของสารประกอบอะมิโนในอาหาร ชนิดของกรดอะมิโนก็มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ด กรดอะมิโนชนิดแอลฟา (α-amino acid) กลัยซีนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดอะมิโนชนิดโอเมกา (ω-amino acid) จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น เมื่อความยาวของสายในโมเลกุลเพิ่มขึ้น สำหรับกรดอะมิโนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนหมู่อะมิโนในโมเลกุลของไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีน และกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอสปาราจีนและกลูตามีน จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นกลาง

3. pH ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่า pH ให้ต่ำลง เช่น ที่ pH เท่ากับ 3 น้ำตาลจะมีความคงตัวมากที่สุด เมื่อ pH ลดลงจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง ดังนั้นการสูญเสียกรดอะมิโนซึ่งมีสมบัติเป็นด่างในปฏิกิริยาเมลลาร์ด จะเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาด้วยตัวเองได้ (Self inhibition)

4. อุณหภูมิ อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นภาวะที่สารมีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalytic อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรุคโตสจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส และเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ความเข้มของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้ช้าลงได้

5. น้ำหรือ a_w ก็มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่น ในภาวะแห้งน้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนกลัยซีนจะคงตัวและไม่เกิดปฏิกิริยาถึงแม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดขึ้นทันที แต่ที่อุณหภูมิสูงการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพราะทำให้มีน้ำเกิดขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงเมื่อมีน้ำมากจนทำให้สับสเตรตเจือจาง ซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาคือ ประมาณ 30%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. อื่นๆ เช่น ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดนอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้อยู่ในรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ อิออนทองแดง เหล็กและสังกะสี

การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของสับสเตรตแต่ละชนิดจะแตกต่างกันและยังแปรตามขั้นตอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ปฏิกิริยาแรกที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาของน้ำตาลกับกรดอะมิโน ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของ optical rotary power ของสารละลายน้ำตาลได้หรือติดตามการเปลี่ยน pH ของสารละลาย เมื่อหมู่อะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่างถูกทำปฏิกิริยา ทำให้มีปริมาณลดน้อยลง นอกจากนั้นอาจใช้วิธี potentiometric titration, cryoscopy และ polarography

สำหรับปฏิกิริยาในขั้นต่อไป อาจเป็นการวัดอัตราการหายไปของน้ำตาลหรือกรดอะมิโน ติดตามการเกิดสารใหม่ ได้แก่ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูราล หรืออาจวัดปฏิกิริยาขั้นตอนสุดท้าย คือ วัดความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในช่วง 420-490 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังอาจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งปริมาณจะผันแปรตามความเข้มของสี

การยับยั้งปฏิกิริยาเมลลาร์ด

1. การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ดีที่สุด คือ การกำจัดสารสับสเตรตของปฏิกิริยา น้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ช้ากว่าน้ำตาลชนิดอื่น สามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยออกซิไดซ์ให้เป็นกรดกลูโคนิคด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส

2. การล้างก็เป็นวิธีการง่ายๆ ที่ช่วยลดปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนออกไปจากผิวนอกได้ เพราะสารเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี

3. ภาวะที่ใช้แปรรูปอาหาร ควรใช้อุณหภูมิต่ำที่สุด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยที่สุด

4. ควบคุมปริมาณน้ำในอาหารให้ลดน้อยลงหรือเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นจนสับสเตรตเจือจางลง

5. การลด pH ก็ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ และอาจเพิ่ม pH ของผลิตภัณฑ์อาหารให้สูงขึ้นตามต้องการภายหลัง

6. ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับ degradation product ของอะมิโนชูการ์ ป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเกิดโพลีเมอไรเซชันเป็นเมลานอยดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การใช้สารเคมีช่วยยับยั้งการทำหน้าที่ของหมู่คาร์บอนิลอิสระหรือสารประกอบคาร์บอนิลอื่นๆ เช่น ใช้สารประกอบซัลไฟต์ คือ โซเดียมและโพแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์จะยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลกับเอมีน โดยหมู่ซัลไฟต์จะไปรวมตัวกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลแอลโดส และทำให้เกิดสารประกอบซัลโฟเนตในขั้นตอนหลังๆ ของปฏิกิริยาอีกด้วย

8. หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งอาจทำได้โดยใช้สารต้านออกซิเดชัน สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง อาจใช้กรดแอสคอร์บิคได้ แต่การใช้ปริมาณกรดแอสคอร์บิคสูง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยานี้ได้เร็วขึ้น เนื่องจากเกิด oxidation degradation ของกรดแอสคอร์บิค และทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบคาร์บอนิลหรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้ (นิธิยา, 2543)

2.5 งานวิจัยการอบกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

กุลยา (2540) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง โดยใช้เตาอบชนิดต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์อบแห้ง ได้แก่ Heat Pump Dryer, Hot Air Oven, เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ และวิธีการตากแดด ผักและผลไม้ที่ใช้อบแห้งคือ ผักคะน้า ผักคื่นไช่ ฟักทอง แครอท ตะไคร้ ขนุน สับปะรด กล้วยน้ำว้า จากการเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งพบว่า การใช้ Heat Pump Dryer จะได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีคุณภาพดีที่สุด มีสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ดีคล้ายของสดมาก เมื่อนำไปต้มจะดูดน้ำกลับได้มากกว่า 80% ผักต้มมีคุณภาพคล้ายของสดมาก เมื่อเทียบกับการอบด้วย Hot Air Oven เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ คุณภาพผักจะมีสีเหลืองเหี่ยว อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วย Heat Pump Dryer อยู่ระหว่าง 50-65 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 40% ความเร็วลม 2-3 เมตร/วินาที ความชื้นสุดท้ายของผักควรอยู่ระหว่าง 5-10% ส่วนผลไม้กล้วยตาก 20-30% ขนุนอบแห้ง 17% สับปะรด 15-18% ระยะเวลาในการอบประมาณ 6-12 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับประเภทของสิ่งที่อบ ผักและผลไม้ที่อบควรตัดให้มีชิ้นขนาดเล็กบางเพื่อให้แห้งเร็วและแห้งสนิทคุณภาพดี ส่วนกล้วยตากการทดลองพบว่า การใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้ Heat Pump Dryer กล้วยที่อบด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์จะมีสีเหลืองทอง นุ่ม รสชาติหวานหอม

งานเคหกิจเกษตร (2532) ศึกษาวิธีการทำกล้วยอบของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่ โดยนำกล้วยน้ำว้าที่สุกเต็มที่แต่ไม่ช้ำ ปอกเปลือก ล้างด้วยน้ำเกลือ ล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง นำเข้าเตาอบที่ใช้ฟืนประมาณ 2 วัน ถ้าเป็นโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เวลาประมาณ 4 - 5 วัน โดยกลับกล้วยทุกวัน หลังจากนั้นนำกล้วยออกมาทิ้งให้เย็นแล้วทับให้แบน นำไปล้างน้ำเกลือและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทิ้งไว้ 1 คืน นำไปอบอีกครั้งโดยใช้ไฟค่อนข้างแรงคอยพลิกกลับ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 20 นาที ถ้าเป็นโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เวลาประมาณ 1 วัน หลังจากนั้นนำกล้วยออกจากเตาอบมาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบรรจุถุงปิดให้สนิท

จรรยา และพิพัฒน์ (2523) ทดลองอบกล้วยน้ำว้าสุกงอมในตู้อบแสงแดด โดยปอกเปลือกกล้วยน้ำว้าแล้วนำไปวางในตู้อบแสงแดด 2 วัน จนผิวกล้วยแห้งแล้วจึงนำมาทับให้แบนแล้วอบต่ออีก 1 วันจะได้กล้วยตากที่แห้งพอดี โดยเปรียบเทียบกับการตากแดดธรรมดาซึ่งมีอุณหภูมิระหว่าง 37 – 41 องศาเซลเซียส นำกล้วยตากที่ได้มาบรรจุในถุงพลาสติก และพบว่าภายในตู้อบมีอุณหภูมิระหว่าง 58.5 – 75 องศาเซลเซียส และกล้วยมีอัตราการสูญเสียความชื้นเร็วกว่าที่ตากภายนอกตู้อบเพราะภายในตู้อบมีอุณหภูมิสูงกว่าและยังมีสีสวยกว่า ใช้เวลาในการอบเพียง 3 วันจนความชื้นเหลือประมาณ 27.33% ส่วนกล้วยที่ตากภายนอกจะมีสีคล้ำกว่าและบางครั้งมีราสีขาวขึ้นที่ผิวกล้วยและใช้เวลาตากนาน 5 วัน และยังพบว่าควรใช้กล้วยน้ำว้าที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 15 - 20% หรือความชื้น 67.96 - 68.60% จะได้กล้วยที่มีความสุกงอมพอดี ไม่เละ สีสวย

ณัฐวุฒิ (2534) ทำการวิจัยการอบแห้งผลไม้ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม ได้กล่าวถึงตัวแปรต่างๆที่อิทธิพลต่อการอบแห้งคือ อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้อบแห้งและอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ จากการทดสอบการอบแห้งกล้วยน้ำว้าพบว่าอัตราการไหลจำเพาะของอากาศที่เหมาะสมต่อการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 60-70 องศาเซลเซียส คือ 10.5-11.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง-กิโลกรัม-กล้วยอบแห้ง ในขณะที่ศิวะและสมชาติ (2532 ก) พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิสูงในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส กล้วยจะมีการหดหรือบิดตัวเสียรูปทำให้ผิวไม่เรียบ

ธีรชัย และคณะ (2532) ทดลองอบกล้วยน้ำว้าโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งออกแบบโดยใช้โครงสร้างเป็นเหล็กฉาก แผงรับแสงอาทิตย์เป็นแผ่นสังกะสีสีดำด้านปิดด้านข้างด้วยไม้อัดและใช้แผ่นพลาสติกใส (PVC) คลุมด้านบนรวมทั้งปล่องระบายอากาศ หลักการในการทำงานคือ อากาศจากภายนอกจะผ่านเข้ามายังแผงรับแสงอาทิตย์และจะรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทำให้อากาศมีความหนาแน่นลดลง อากาศอุ่นภายในเครื่องอบซึ่งเบากว่าอากาศภายนอกก็จะลอยตัวตัวสูงขึ้นและไหลออกมาทางปล่องระบายอากาศ ซึ่งทำให้เกิดการหมุนเวียนแบบธรรมชาติ อากาศร้อนที่ได้หลังจากการรับแสงอาทิตย์นี้จะใช้ในการอบแห้งต่อไป กล้วยที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 - 3.0 เซนติเมตร จำนวน 5 กิโลกรัม มาปอกเปลือกแล้วแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% นาน 30 นาที อบแล้วบีบกล้วยให้แบนทุกวันจนมีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 25% มาตรฐานแห้ง เปรียบเทียบกับกล้วยตากภายนอกเครื่องอบ 3 วัน พบว่ามวลกล้วยจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรกและจะลดลงอย่างช้าๆ ในวันถัดมาทั้งในกล้วยในเครื่องอบและภายนอก โดยที่กล้วยในเครื่องอบจะมีความชื้นลดลงมากกว่า กล้วยที่ตากภายนอกจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้เวลานานกว่าเล็กน้อยและกล้วยบางลูกมีเชื้อรา แต่กล้วยที่ใช้เครื่องอบไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นมีค่าประมาณ 9.2% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ เพราะมีสาเหตุมาจากการประกอบตัวเครื่องที่เกิดรอยรั่ว และพลาสติกใส (PVC) มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานซึ่งควรเป็นชนิด Low Density Polyethelene (LDPE)

ปิยะรัตน์ และวิจิตร (2523) ทำการทดลองสมรรถนะตู้อบแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแบบแยกแผงรับรังสีออกจากตู้อบ แผงรับรังสีปิดด้วยกระจก 2 ชั้น แผ่นรับรังสีทำด้วยตะแกรงโลหะชนิดมีรูกลมปรุทั่วไปพ่นด้วยสีดำด้าน การไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติภายในตู้มีชั้นวาง 3 ชั้น ส่วนบนของตู้อบปิดด้วยกระจกใสเอียงทำมุมประมาณ 14 องศากับแนวระดับ เมื่อทำการทดลองอบกล้วยน้ำว้าสุกในปริมาณต่างๆ กัน เปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้งพบว่าการอบในตู้อบแห้งใช้เวลา 2 วันครึ่ง เร็วกว่าการตากกลางแจ้งโดยใช้ปริมาณกล้วย 10 กิโลกรัม/ตารางเมตร ของพื้นที่รับรังสี

พจนา (2528) ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบมีตัวรับรังสี การไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติเปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้ง พบว่าอัตราการอบแห้งของกล้วยในเครื่องอบแห้งสูงกว่าการตากกลางแจ้ง แต่สีผิวกล้วยเข้มไม่สม่ำเสมอและเนื้อกล้วยแข็งกว่า เนื่องอุณหภูมิสูงเกินไปและการไหลเวียนของอากาศในเครื่องอบแห้งต่ำ ต่อมาได้ดัดแปลงเครื่องอบโดยติดพัดลมดูดอากาศขนาด 36 วัตต์ เพื่อช่วยการหมุนเวียนของอากาศ พบว่าอัตราการอบแห้งกล้วยสูงกว่าการตากกลางแจ้ง สีและความอ่อนนุ่มของกล้วยดีกว่าที่ได้จากการตากกลางแจ้ง

ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และโรงงานเกษตรพัฒนา ได้ทดลองสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ แบบแยกแผงรับรังสีความร้อนขนาดใหญ่ในปี พ.ศ. 2529 ซึ่งอบได้ครั้งละ 500 กิโลกรัม การตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ได้รับความนิยมและผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ตากจากตู้อบพลังงานอาทิตย์ ได้รับการยอมรับในเชิงการค้า จึงพยายามสร้างตู้ราคาถูกตากได้จำนวนมาก เพื่อผลิตในเชิงการค้า โดยโรงงานเกษตรพัฒนาได้สร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเฮ้าส์ในปี พ.ศ. 2529 ซึ่งตากได้ครั้งละ 120 กิโลกรัม แต่อุณหภูมิในตู้ต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ยังสูงแม้ว่าตู้ทุกแบบจะตากได้ผล แต่ประสบปัญหาในฤดูฝน เพราะความชื้นสูง แห้งช้า อุณหภูมิต่ำ กล้วยตากเกิดการเสียหาย เกิดรา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำไม่สามารถฆ่าหนอนในแมลงวันทองที่ติดมากับลูกกล้วยได้ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้สร้างตู้อบโดยพลังงานความร้อนจากถ่านไฟฟ้า และแสงอาทิตย์ในตู้เดียวกัน ใน พ.ศ. 2529 (วัฒนพงษ์, 2534) ตากได้ครั้งละ 50 กิโลกรัม ผลวิจัยสามารถใช้ตากกล้วยในฤดูฝนและหนาวได้ แต่ใช้พลังงานไฟฟ้าในราคาสูงมาก ต้นทุนการผลิตถึงหวีละ 1 บาท จากการตากด้วยตู้อบไฟฟ้าครั้งละ 50 กิโลกรัม เพิ่มต้นทุนการผลิต 50 บาทต่อครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยใช้การอบเวลา 2 วัน อุณหภูมิในการควบคุม 50 องศาเซลเซียส ในวันแรก และวันที่ 2 ควบคุม 60 องศาเซลเซียส

วิลาสินี (2532) ศึกษาคุณภาพเชิงฟิสิกส์ของกล้วยน้ำว้าอบแห้ง ที่ได้จากตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรม พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบควรมีค่าระหว่าง 45 - 52 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้กล้วยที่มีสีเหลืองทองเนื้อนุ่ม มีความชื้นอยู่ในช่วง 24.97 - 33.56% (dry basis) และ 19.98 - 25.13% (wet basis) พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์มีผลต่อสีกล้วย ถ้าให้กล้วยถูกแสงโดยตรงจะทำให้สีของกล้วยเข้มมากเกินไป จึงพัฒนาใช้ตาข่ายกรองแสงเพื่อลดความเข้มแสงพบว่าจะทำให้สีของกล้วยจางลง

วัฒนพงษ์ และสังวาล (2535) ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบผสมสามารถใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานเสริมจากก๊าซ LPG มีระบบควบคุมการไหลเวียนอากาศ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีขนาด 7.5 ตารางเมตร ตู้อบมีปริมาตร 1.5 ลูกบาศก์เมตร อบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 100 กิโลกรัม ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีมีค่า 26.6% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งมีค่า 48.23% การอบแห้งกล้วยด้วยวิธีการอบต่อเนื่องจะต้องควบคุมอุณหภูมิและความเข้มแสงในระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Dryer) โดยใช้การ์ด 231 วัดอุณหภูมิและความเข้มแสง วิธีการทดลองอบคือ การอบตู้ที่ไม่มีวัตถุดิบและอบผ้าห่ม แยกเป็นอบด้วยก๊าซ (LPG) และพลังงานแสงอาทิตย์ ผลที่ได้จากการวิจัย สรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ได้แปรผันตรงกับความเข้มแสงและการวัดอุณหภูมิและความเข้มแสงโดยโปรแกรม Wingen นั้น ค่อนข้างถูกต้อง จึงสามารถใช้โปรแกรม Wingen ไปใช้งานได้จริงเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมในการใช้งานเกี่ยวกับการวัด, เก็บรักษาข้อมูลและการควบคุม สามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันได้เป็นเวลานานๆ

สมชาติ และคณะ (2535) ศึกษาการจำลองแบบการอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม โดยทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากการเปรียบเทียบผลข้อมูลการทดลองกับข้อมูลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้คุณภาพกล้วยดี อบแห้งด้วยอัตราการไหลจำเพาะของอากาศเท่ากับ 10.5 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมกล้วยแห้ง และอัตราส่วนการนำอากาศที่ใช้อบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ 80% จะสามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้มากที่สุด และพบว่าแบบจำลองที่ใช้มีความถูกต้องสูง

สุขฤดี (2535) ทำการศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์และ LPG รวมทั้งการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยแสงอาทิตย์และประเมินความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ จากการทดสอบตัวรับรังสีระหว่างเวลา 9.00 - 16.00 นาฬิกา รังสีรวมแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 706.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัตต์/ตารางเมตร (337 - 840 วัตต์/ตารางเมตร) อัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.27 กิโลกรัม/วินาที อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าเฉลี่ย 37.6 องศาเซลเซียส (28 - 37.6 องศาเซลเซียส) ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีมีค่าเฉลี่ย 24.7% ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ได้ทางทฤษฎี เมื่อทดลองอบกล้วยน้ำว้า พบว่าประสิทธิภาพกฎข้อที่หนึ่งของระบบอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์และ LPG แปรตามความชื้นเฉลี่ยของกล้วยและอัตราการไหลจำเพาะของอากาศในลักษณะเชิงเส้น เมื่อทดลองอบ 2 วิธี พบว่าการอบแห้งแบบต่อเนื่องมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าการอบแห้งแบบหมุนเวียน จากการประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการอบแห้งแบบหมุนเวียนให้อัตราผลตอบแทนในการลงทุน 46.5% ซึ่งต่ำกว่าการอบแห้งแบบต่อเนื่อง 58.8% การอบแห้งแบบต่อเนื่องสามารถคุ้มทุนได้ภายในเวลา 2 ปี ซึ่งการอบแห้งแบบหมุนเวียนใช้เวลา 3 ปี จึงจะคุ้มทุน

Fuller (Engineering Center Food Research Institute, Department of Agriculture werribee, Victoria 3030) กล่าวว่าเป็นเวลา 25 ปี มาแล้วที่ได้มีความพยายามวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลการวิจัยกล่าวถึงวิธีการให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปยังวัตถุดิบ มีจุดมุ่งหมายเริ่มต้นอยู่ที่ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่นิยมอบแห้ง คือ ผัก ผลไม้ พวกเมล็ดพืช เนื้อ ปลา ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะใช้เวลาและอุณหภูมิในการอบต่างๆ กันไป

Soponronnarit, Assayo และ Rakwichian (1994) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งแบบผสม ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ 31.7 ตารางเมตร พัดลมขนาด 1.0 กิโลวัตต์ เตาเผาและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตู้อบแห้งมีขนาด 2.4 x 6 x 1.7 เมตร สามารถจุได้สูงสุดประมาณ 1 ตัน หลังคาของตู้อบปิดด้วยกระจกใสมีพื้นที่รับรังสี 12 ตารางเมตร การไหลเวียนของอากาศเป็นแบบบังคับ จากการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าพบว่าประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแปรตามความชื้นเฉลี่ยของกล้วย และมวลแห้งของกล้วยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับรังสีของเครื่องอบแห้ง ซึ่งมวลแห้งของกล้วยมีค่า 3.7 กิโลกรัม/ตารางเมตร เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเฉลี่ย 7 วัน (วันละ 6 ชั่วโมง) จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะคืนทุนระหว่าง 1.5 - 5.4 ปี เมื่อความแตกต่างของราคากล้วยที่อบในตู้และตากกลางแจ้งแปรผันระหว่าง 2 - 7 บาทต่อกิโลกรัม

Soponronnarit, Dussadee, Hirunlabh, Namprakai และThepa (1992) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบกล้วยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนเสริม พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองสอดคล้องกัน หลังจากนั้นใช้แบบจำลองเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขการอบแห้งที่ดีที่สุด ผลการประเมินแบบจำลองแสดงว่าอัตราการไหลของอากาศจำเพาะของ 10 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง - กิโลกรัมกล้วยอบ และควรจะใช้ส่วนของอากาศที่นำกลับมาใช้ได้อีก 90% ภายใต้เงื่อนไขเช่นนี้ การใช้พลังงานจำเพาะและเวลาในการอบจะใกล้กับค่าต่ำสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงว่าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งควรจะอยู่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส ถ้าจะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

Schirmer และคณะ (1995) ทดลองใช้ Solar tunnel dryer ในการทำกล้วยอบแห้งภายใต้สภาวะความร้อนและความชื้นของประเทศไทย ซึ่ง Dryer นี้ประกอบด้วย collector, พลาสติกและ Drying tunnel ใช้ลมร้อนและพัดลม 3 ตัว ใช้ solar cell module 53 วัตต์ กล้วยเมื่อปอกเปลือกแล้วจะไม่เติมสารเคมีใดๆ แล้วเริ่มตากตั้งแต่เวลา 8.00 - 17.00 น. กล้วยจะวางบนตาข่ายพลาสติกใน Drying tunnel สามารถใช้กล้วย 300 กิโลกรัมในแต่ละ batch ใช้กล้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร มีความชื้น 69% (Wet basis) และมีปริมาณน้ำตาล 27 °Brix ใช้อุณหภูมิการอบ 40 – 65 องศาเซลเซียส เมื่อถึงเวลา 17.00 น. ก็จะเก็บกล้วยลงในกล่องพลาสติกเพื่อให้เกิดการหมักและเกิดการแพร่ของความชื้นภายในกล้วยอย่างสม่ำเสมอ หลังจากเก็บกล้วยในช่วงกลางคืนแล้วก็จะนำมาตากในตอนเช้าต่อไปจนกว่ากล้วยจะแห้ง ซึ่งกล้วยจะแห้งภายใน 3 - 5 วัน จะได้ความชื้นกล้วยประมาณ 30% (Wet basis) มีปริมาณน้ำตาล 55 °Brix น้ำหนักกล้วยจะเหลือแค่ 50 - 100 กิโลกรัมขึ้นกับความสุกและคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้าใช้การตากแห้งปกติใช้เวลา 5 – 7 วัน แต่กล้วยที่ตากใน Drying tunnel จะป้องกันฝน

2.6 งานวิจัยการอบกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

จรัสพงศ์ (2542) ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด ใช้กล้วยประมาณ 3.2265 กิโลกรัม/ตารางเมตร หั่นเป็นแว่นตามขวางหนา 3 มิลลิเมตร ใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และ 54 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศร้อน 0.5 m/s และ 1.0 m/s พบว่าอัตราการอบแห้งจะลดลงตามปริมาณความชื้น ความสัมพันธ์ระหว่าง R กับ W อยู่ในรูปของสมการยกกำลัง $R = a W^b$ โดยค่า a เป็นค่าที่แปรตามอุณหภูมิ ($2.406 \times 10^{-4} - 5.386 \times 10^{-4}$) ส่วนค่า b จะมีค่าประมาณ 2.0 ทุกอุณหภูมิ

จโรจ และธวัชน์ (2533) ได้ทำการปรับปรุงเครื่องทดสอบอัตราการอบแห้ง โดยเปลี่ยนข้องอที่ติด vane เข้าไปแทนข้องอเดิมและหุ้มฉนวนรอบท่อลม พบว่าการปรับปรุงเครื่องมีส่วนช่วยให้การกระจายลมสม่ำเสมอมากขึ้น ค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วลมสูงสุดและต่ำสุดมีค่า 23.88% และค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของลมร้อนที่ผ่านถาดอบแห้งแตกต่างกันเพียง 2.74% จึงมีผลทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากช่วงค่าแตกต่างของ Moisture content สูงสุดและต่ำสุดมีค่าน้อยลง

ศิวะ และสมชาติ (2532) ทำการทดสอบหาความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้าเปรียบเทียบกับกรณีของเมล็ดพืชและมะละกอแช่อิ่ม พบว่าที่ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงๆ การเพิ่มของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นสมดุลจะเป็นไปได้อย่างรวดเร็วที่สุดในกรณีของมะละกอแช่อิ่ม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลมาก รองลงมาได้แก่กล้วยน้ำว้าและที่ช้าที่สุดคือเมล็ดพืช

Chou และคณะ (1993) ศึกษาการอบแห้งผลไม้โดยใช้ปั๊มความร้อน ซึ่งใช้เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างขนาดหนึ่งตันเป็นปั๊มความร้อน พร้อมทั้งติดตั้งขดลวดความร้อนเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศร้อน ทำการทดลองอบแห้งกล้วยและสับปะรดในตู้อบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ หั่นกล้วยและสับปะรดให้มีขนาดความหนาชิ้นละ 10 เซนติเมตร ใช้เวลาการอบแห้ง 6 ชั่วโมง โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ 1) แบบระบบเปิด หมายถึงอบแห้งผลไม้ด้วยอุณหภูมิของอากาศร้อน 61 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 43% โดยอากาศหลังออกจากตู้อบแห้งบางส่วนจะถูกทิ้งไป อีกบางส่วนจะถูกทิ้งไปหลังจากผ่านเครื่องทำระเหย แล้วในขณะที่อากาศใหม่เข้าเครื่องควบแน่น 2) ระบบปิด หมายถึงอบแห้งผลไม้ด้วยอุณหภูมิของอากาศร้อน 55 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 43% โดยให้อากาศหลังออกจากตู้อบแห้งแล้วมีบางส่วนที่ถูกทิ้งไป อากาศอีกส่วนหนึ่งจะผ่านเข้าเครื่องทำระเหย และออกจากเครื่องทำระเหยแล้วจะผสมกับอากาศใหม่ที่เข้าเครื่องควบแน่น จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งผลไม้แบบระบบปิดอบแห้งได้รวดเร็วกว่าระบบเปิด และจากการเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าการอบแห้งผลไม้โดยใช้ปั๊มความร้อนมีความประหยัดกว่าตู้อบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Soponronnarit, Dussadee, Hirunlabh, Namprakai และ Thepa (1992) รายงานว่าหากต้องการผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่มีคุณภาพสูง คือ ผิวไม่เหี่ยวย่นและแข็งภายนอก ควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งประมาณ 60-65องศาเซลเซียส ในการอบกล้วยน้ำว้า

2.7 งานวิจัยการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

รัชนี และคณะ (2535) ได้ศึกษาวิธีการชะลอการเน่าเสียของลำไย โดยนำลำไยไปผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และการผ่านลำไยในสารละลายด่างทับทิมความเข้มข้นต่างๆ แล้วจึงค่อยนำลำไยนั้นไปผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันอีกครั้งหนึ่ง โดยมีการออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล และวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อหาข้อสรุป พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ควบคุมโรคเน่าของลำไยได้ดีที่สุดคือ 2.0% และวิธีการรมควันลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะได้ผลดีกว่าการผ่านลำไยในสารละลายด่างทับทิมแล้วนำมารมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อีกครั้งหนึ่ง

Ghosh และ Chakravorty (1979) ได้ทำการทดลองใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลใน resogollas กระป๋อง พบว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 100 ppm. นอกจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่ทำให้กลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงแล้ว ยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ออกไปเป็น 6 เดือนด้วย

Mcweeny (1981) พบว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากกลุ่มอะมิโนในโปรตีนทำปฏิกิริยากับกลุ่มคาร์บอนิลในน้ำตาล แล้วให้สารที่มีสีเข้ม (Melanoidin) พบว่า HSO_3^- (Bisulfite ion) ซึ่งเกิดจาก SO_2 ละลายน้ำได้ H_2SO_3 แล้วเกิดเป็น HSO_3^- สามารถป้องกันปฏิกิริยาได้โดย HSO_3^- จะแย่งเข้าไปทำปฏิกิริยากับกลุ่มคาร์บอนิล เกิดเป็นสารไฮดรอกซีซัลโฟเนท (Hydroxysulphonate)

Bolin และคณะ (1983) ได้ทดลองใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในการแปรรูปแอพริคอต พีช และแพร์แห้ง ได้สรุปไว้ว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปก๊าซ จะให้ผลดีกว่าและถูกกว่าด้วย

2.8 วัตถุเจือปนในอาหาร

1. สารที่ช่วยปรับปรุงความเป็นกรด (Acidulant) ในกระบวนการแปรรูปผักผลไม้นั้น มีการใช้กรดร่วมด้วยเสมอ ด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น แต่งรสชาติ ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง เพื่อป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ และลดอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น การใช้กรดในผลิตภัณฑ์แช่อิ่มจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของสารสีจำพวกฟลาโวนอยด์ได้ดี ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้ ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ กรดซิตริกไม่ได้กำหนดหรือควบคุมปริมาณการใช้สูงสุดไว้ แต่กรดแอสคอร์บิกกฎหมายกำหนดให้ใช้ในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ ได้ไม่เกิน 500 ppm. และในน้ำองุ่นใช้ได้ไม่เกิน 400 ppm. กรดทาร์ทาริก กฎหมายกำหนดให้ใช้ในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ได้สูงสุด 3,000 ppm.

2. ซอร์บิทอล (Sorbitol) ซอร์บิทอล มีชื่อทางเคมีว่า D-glucitol หรือ D-sorbitol เป็นสารให้รสหวานในกลุ่มโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ซึ่งเกิดจากกระบวนการไฮโดรจิเนชันของน้ำตาลกลูโคส (aerocia.com/foodnews17) ภายใต้สภาวะความดันสูง ความร้อนสูง และมีตัวเร่งปฏิกิริยา (กล้าณรงค์, 2542) ซอร์บิทอลในทางการค้าจะอยู่ในรูปผลึก ซึ่งละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังผลิตในรูปของไซรัป มีลักษณะใส ไม่มีสี ซอร์บิทอลอาจพบในธรรมชาติ เช่น ในแอปเปิ้ล พรุน แพร แต่มีปริมาณน้อยจึงไม่สามารถสกัดมาใช้ได้ ซอร์บิทอลมีความหวานน้อยกว่าซูโครส 1 เท่า แต่จะมีการดูดซึมช้ากว่า ให้พลังงาน 4.10 Kcal/g สามารถใช้แทนน้ำตาลได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (aerocia.com/foodnews17) นอกจากนี้สารพวก Polyhydric alcohol ยังมีสมบัติในการช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำของอาหาร ควบคุมความหนืดและเนื้อสัมผัสของอาหาร ลด a_w ควบคุมการตกผลึก ทำให้อาหารคงความนุ่ม ช่วยในการคืนรูปของอาหารแห้งและใช้เป็นสารสำหรับปรุงแต่งรสชาติอาหาร (Fennema, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้มีการใช้สารในกลุ่มโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ในการถนอมผักและผลไม้ด้วยวิธีการตากแห้ง เนื่องจากปัญหาใหญ่ที่พบคือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังทำให้คืนตัวแล้ว ไม่เหมือนวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำให้แห้งเลย จึงได้มีการทดลองใช้โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ผสมด้วยในปริมาณเล็กน้อยในระหว่างการทำแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการทำให้คืนตัวแล้วจะมีคุณภาพดีขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าโพลีออลช่วยป้องกันการแตกของเซลล์ของพืช ดังนั้นเมื่อนำมาทำให้คืนตัว เมื่อมีการดูดน้ำเข้าไป เซลล์จึงคงสภาพเดิมอยู่ได้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพคล้ายวัตถุดิบมากขึ้น (ศิวาพร, 2535)

3. สารที่ช่วยให้เนื้อเยื่อของผักและผลไม้คงตัว (Firming agent) ที่นิยมใช้ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (น้ำปูนใส) แคลเซียมคลอไรด์ และสารส้ม เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้อนุมูลแคลเซียม หรืออะลูมินัม เมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกติกจะเกิดเป็นเกลือเพกเตท ซึ่งทำให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรงขึ้นและทนต่อความร้อนได้มากยิ่งขึ้น การใช้สารประกอบแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้นั้น กฎหมายอนุญาตให้ปริมาณสูงสุดของแคลเซียมไม่เกิน 800 ppm. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ส่วนผลไม้แช่อิ่มจะมีแคลเซียมได้ไม่เกิน 250 ppm.

4. เกลือแกง (Sodium Chloride ; NaCl) เกลือแกงเป็นสารที่ทำให้อาหารมีรสเค็มและจัดเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย การสูญเสียเกลือหรือน้ำจะทำให้ร่างกายเกิดภาวะขาดน้ำ (dehydration) หากบริโภคเกลือมากเกินไป จะทำให้ร่างกายมีน้ำมากขึ้น เพราะเกลือช่วยอุ้มน้ำไว้และช่วยรักษาภาวะสมดุลของไอออนในของเหลวภายนอกเซลล์ด้วย หากได้รับมากเกินไป ร่างกายจำเป็นต้องกำจัดเกลือทิ้งออกทางไต หากไตขับออกไม่ทันจะทำให้เกิดอาการบวมน้ำ และมีความดันโลหิตสูงขึ้น (สูงกว่า 140/90 มิลลิเมตรปรอท systole/diastole) ดังนั้นจึงไม่ควรบริโภคอาหารที่มีปริมาณเกลือแกงมากเกินไป คนปกติต้องการเกลือแกงประมาณวันละ 6-8 กรัม (สุทธิดา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนในอาหาร (JETRO, 1997)

1. วัตถุเจือปนในอาหารที่มีข้อกำหนดในการใช้

Antioxidant

ชนิดสาร	อาหารที่อนุญาตให้ใช้	ปริมาณสูงสุด	ข้อจำกัดการใช้	หมายเหตุ
Sodium Erythorbate	-	-	ในกรณีที่ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันในอาหารต่างๆ ยกเว้น fish-paste (ไม่รวม Surimi) และขนมปัง	-

Dietary supplement

ชนิดสาร	อาหารที่อนุญาตให้ใช้	ปริมาณสูงสุด	ข้อจำกัดการใช้	หมายเหตุ
Calcium Chloride	-	ไม่เกิน 1.0% (ยกเว้นอาหารที่อยู่ในการควบคุมของกฎหมายทางโภชนาการ)	ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตหรือจุดประสงค์ทางโภชนาการ	เพื่อทำให้ Tufo จับตัวกันเป็นก้อน

Quality improver

ชนิดสาร	อาหารที่อนุญาตให้ใช้	ปริมาณสูงสุด	ข้อจำกัดการใช้	หมายเหตุ
Sodium Erythorbate	ผลิตภัณฑ์ fish-paste (ไม่รวม Surimi) และขนมปัง	-	-	สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิ
664.809592
ว372ค
เลขหมู่.....
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2. วัตถุเจือปนในอาหารที่ไม่มีข้อกำหนดในการใช้

Antioxidant and Vitamin

- L-Ascorbic Acid

Acidity regulators, Food acids and Raising agents

- Citric acid (Anhydrous)
- Citric acid (Crystal)

Humectant, Sweetener and Plasticizer for chewing gum

- D-Sorbitol

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved