บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไย (longan) จัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ หลายชื่อ คือ *Euphoria longana* Lam. ; *Euphoria longan* Strend. ; *Nephelium longana* Camb. และ *Dimocarpus longan* Lour. (พาวิน, 2543) เป็นไม้ผลยืนต้นและนิยมปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ ปัจจุบันปลูกกันมากทางภาคเหนือ และมีปลูกบ้างทางภาคใต้และภาคตะวันออก เชื่อกันว่า ลำไยมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางพื้นที่ราบของศรีลังกา ภาคใต้ของอินเดีย พม่าและจีน (Subhadrabandhu,1990) การปลูกเพื่อการค้าอยู่ในประเทศจีนตอนใต้ ภาคกลางของไต้หวัน และทางภาคเหนือของประเทศไทย (Tongdee,1997)

ลำไยมีขนาดลำต้นสูงปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดจะมีลำต้นตรงเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่มีความสูงประมาณ 12-15 เมตร และหากเป็นต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งจะแตกกิ่งก้านสาขาใกล้ๆกับพื้น ใบเป็นใบรวมที่ประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านใบร่วมกัน (pinnately compound leaves) ช่อดอกส่วนมากจะเกิดจากตาที่ปลายยอด (terminal bud) บางครั้งเกิดจากตาข้างของกิ่ง ดอกมีสีขาวหรือขาวอมเหลืองมีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 มิลลิเมตร มีผลทรงกลมหรือเบี้ยว เปลือกสีน้ำตาลปนเหลืองหรือปนเขียว ผลสุกมีเปลือกสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอมแดง (พงษ์ศักดิ์, 2542) ลำไยเป็นผลไม้ชนิดบ่มไม่สุก (non-climacteric fruit) (Subhadrabandhu,1990)

2.1.1 พันธุ์ลำไยที่นิยมนำมาแปรรูป

ลำไยพันธุ์ที่นิยมนำมาทำการแปรรูป คือ ลำไยพันธุ์ดอ ซึ่งเป็นลำไยพันธุ์เบา ความหมายของลำไยพันธุ์เบา คือ ออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะเก็บเกี่ยวได้ก่อน ทำให้ได้ราคาดี ตลาดต่างประเทศนิยมสามารถจำหน่ายทั้งผลสดและแปรรูป ทำลำไยกระป๋องและอบแห้ง (ศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยและลิ้นจี่มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 ปริมาณการส่งออก

ปริมาณและมูลค่าการส่งออกลำไยสดและผลิตภัณฑ์จากลำไยในระหว่างปี พ.ศ. 2541 ถึง 2546 แสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกลำไยสดและผลิตภัณฑ์ของลำไย

พ.ศ.	ลำไยสด,ลำไยแช่เย็น		ลำไยกระป๋อง		ลำไยแห้ง	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2541	2,800	169.41	4,861	272.93	945	85.46
2542	44,747	1,191.85	8,822	468.93	6,770	436.73
2543	102,927	2,160.55	11,715	476.32	55,904	2,414.87
2544	102,903	1,974.96	8,971	367.16	26,838	1,309.96
2545	114,403	1,986.82	11,507	412.70	29,916	1,326.12
2546	75,169	1,571.90	12,292	453.64	54,868	2,337.34

หมายเหตุ ปริมาณ : ตัน , มูลค่า : ล้านบาท

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2547)

จากตาราง 2.1 จะเห็นว่าในปี พ.ศ. 2541 ลำไยอบแห้งมีปริมาณการส่งออก 945 ตัน คิดเป็นมูลค่า 85.46 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2546 ลำไยอบแห้งมีปริมาณการส่งออกเพิ่มสูงขึ้นถึง 54,868 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,337.34 ล้านบาท ซึ่งแนวโน้มของปริมาณการส่งออกลำไยอบแห้งจะสูงมากขึ้นทุกปี และมีมูลค่าสูงที่สุดในผลิตภัณฑ์ลำไยแปรรูปชนิดต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของลำไยสดและลำไยอบแห้ง

องค์ประกอบทางเคมีของลำไยสดและลำไยอบแห้งแสดงในตาราง 2.2, 2.3 และ 2.4

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยวผล

องค์ประกอบ	ปีที่ศึกษา	
	2526	**2527**
เนื้อผล (% dry basis)	19.80 ± 0.20	16.50 ± 0.70
เปลือกผล (% dry basis)	35.70 ± 0.60	35.60 ± 0.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (%)	20.10 ± 0.10	18.30 ± 0.20
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ($mg.kg^{-1}$)	184.00 ± 7.00	154.00 ± 11.00
ซูโครส ($mg.kg^{-1}$)	27.00 ± 15.00	29.00 ± 3.00
กลูโคส ($mg.kg^{-1}$)	22.00 ± 17.00	17.00 ± 1.00
ฟรุคโตส ($mg.kg^{-1}$)	28.00 ± 17.00	23.00 ± 1.00
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ($meq.g^{-1}$)	2.30 ± 0.10	2.10 ± 0.10
pH	6.20 ± 0.10	6.40 ± 0.10
กรดซิตริก ($meq.g^{-1}$)	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.01
กรดมาลิค ($meq.g^{-1}$)	0.89 ± 0.16	0.35 ± 0.07
กรดซัคซินิค ($meq.g^{-1}$)	1.85 ± 0.19	1.15 ± 0.11
กรดแอสคอร์บิก ($mg.g^{-1}$)	2.00 ± 0.20	1.40 ± 0.20
ปริมาณของฟีนอลทั้งหมด ($mg.g^{-1}$)	0.80 ± 0.10	0.50 ± 0.10

ที่มา : Paull and Chen (1987)

จากตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีในผลลำไยสดมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 154-184 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซูโครส 27-29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กลูโคส 17-22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และฟรุคโตส 23-28 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยปริมาณกรดที่พบมากคือ กรดซัคซินิค 1.15-1.85 มิลลิกรัม/กรัม รองลงมาคือ กรดมาลิค 0.35-0.89 $meq.g^{-1}$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของลำไยสดต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักสดผลสุก

องค์ประกอบ	หน่วย	ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ
Proximates		
Water	g	82.75
Energy	KCal	60
Energy	KJ	251
Protein	g	1.31
Total lipid (fat)	g	0.10
Ash	g	0.70
Carbohydrate, by difference	g	15.14
Fiber, total dietary	g	1.10
Minerals		
Calcium, Ca	mg	1
Iron, Fe	mg	0.13
Magnesium, Mg	mg	10
Phosphorus, P	mg	21
Potassium, K	mg	266
Sodium, Na	mg	0
Zinc, Zn	mg	0.05
Copper,Cu	mg	0.169
Manganese, Mn	mg	0.052
Vitamins		
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	84
Thiamin	mg	0.031
Riboflavin	mg	0.140
Niacin	mg	0.300
Vitamin B-12	µg	0.00
Lipids		
Cholesterol	mg	0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 (ต่อ)

ส่วนประกอบ	หน่วย	ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ
Amino acids		
Threonine	g	0.034
Isoleucine	g	0.026
Leucine	g	0.054
Lycine	g	0.046
Methionine	g	0.013
Phenylalanine	g	0.030
Tyrosine	g	0.025
Valine	g	0.058
Arginine	g	0.035
Histidine	g	0.012
Alanine	g	0.157
Aspatic acid	g	0.126
Glutamic acid	g	0.209
Glycine	g	0.042
Proline	g	0.042
Serine	g	0.048

ที่มา : USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2003)

จากตาราง 2.3 ปริมาณแร่ธาตุที่พบมากในผลลำไยสด คือ โพแทสเซียม 266 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อ ปริมาณวิตามินที่พบมากคือ วิตามินซี 84 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อ รองลงมาคือ ไนอะซิน 0.30 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อ ปริมาณกรดอะมิโนที่พบมากคือ กรดกลูตามิก รองลงมาคือ อะลานีน 0.209 และ 0.157 กรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อตามลำดับ ส่วนไลซีนพบ 0.046 กรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของลำไยอบแห้งต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักแห้ง

องค์ประกอบ	หน่วย	ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ
Proximates		
Water	g	17.6
Energy	KCal	286
Energy	KJ	1197
Protein	g	4.90
Total lipid (fat)	g	0.40
Ash	g	3.10
Carbohydrate, by difference	g	74.00
Minerals		
Calcium, Ca	mg	45
Iron, Fe	mg	5.40
Magnesium, Mg	mg	46
Phosphorus, P	mg	196
Potassium, K	mg	658
Sodium, Na	mg	48
Zinc, Zn	mg	0.22
Copper,Cu	mg	0.807
Manganese, Mn	mg	0.248
Vitamins		
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	28
Thiamin	mg	0.040
Riboflavin	mg	0.500
Niacin	mg	1.000
Vitamin B-12	µg	0.00
Vitamin A, IU	IU	0
Vitamin A, RAE	µg,RAE	0
Retinol	µg	0
Lipids		
Cholesterol	mg	0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 (ต่อ)

องค์ประกอบ	หน่วย	ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ
Amino acids		
Threonine	g	0.128
Isoleucine	g	0.097
Leucine	g	0.202
Lycine	g	0.172
Methionine	g	0.049
Phenylalanine	g	0.112
Tyrosine	g	0.094
Valine	g	0.217
Arginine	g	0.131
Histidine	g	0.045
Alanine	g	0.585
Aspatic acid	g	0.469
Glutamic acid	g	0.780
Glycine	g	0.158
Proline	g	0.158
Serine	g	0.180

ที่มา : USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2003)

จากตาราง 2.4 ในเนื้อลำไยอบแห้งปริมาณปริมาณวิตามินที่พบมากคือ วิตามินซี 28 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อ ส่วนไนอะซินพบ 1 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อ กรดอะมิโนที่พบมากคือ กรดกลูตามิก รองลงมาคือ อะลานีน 0.780 และ 0.585 กรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อตามลำดับ ปริมาณไลซีนที่พบคือ 0.172 กรัม/100 กรัมน้ำหนักเนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 ลำไยอบแห้ง

การอบแห้งลำไยอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

การอบเนื้อ เป็นการอบลำไยที่มุ่งอบเฉพาะเนื้อลำไยล้วน โดยคว้านเนื้อออกจากเปลือกและเมล็ด มีการใช้แรงงานในการดำเนินการมาก มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง รวมถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตมากกว่าลักษณะอื่นๆ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะดีมากน่ารับประทาน ตลาดภายในประเทศต้องการและมีราคาสูง

การอบทั้งเปลือก เป็นการอบผลลำไยสดที่มีความนิยมสูง เพราะสามารถดำเนินการได้ง่ายรวดเร็ว และเป็นจำนวนมาก ดำเนินการโดยการคัดเกรดลำไยเข้าเตาอบ ใช้เวลาอบ 40-50 ชั่วโมง หลังจากนั้นสามารถนำไปบรรจุถุงพลาสติกและกล่องเพื่อส่งออกได้ เก็บรักษาไว้ได้นาน สามารถส่งออกหรือเก็บไว้บริโภคได้ตลอดปี แนวโน้มในการผลิตและส่งออกมีสูงโดยเฉพาะการส่งออกไปยังประเทศจีนและประเทศในเอเชียที่นิยมบริโภคในลักษณะดังกล่าว

2.1.5 มาตรฐานลำไยอบแห้ง

มาตรฐานลำไยอบแห้งของประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มาตรฐานลำไยอบแห้งทั้งเปลือก และมาตรฐานลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อลำไยโดยมีหน่วยงานที่เป็นผู้กำหนดมาตรฐานคุณภาพผลิตภัณฑ์ของส่วนราชการ คือ กรมส่งเสริมการเกษตร และกรมการค้าภายในไว้ดังนี้ (บริษัท ลองแกน จำกัด, 2546)

1. มาตรฐานลำไยอบแห้งทั้งเปลือก

การกำหนดมาตรฐานลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ได้กำหนดเกณฑ์ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพดังนี้

ด้านปริมาณ (ขนาด) ของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกแบ่งออกเป็น 4 เกรด

1) เกรด AA ลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรขึ้นไป
2) เกรด A ลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22-24 มิลลิเมตร
3) เกรด B ลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19-21 มิลลิเมตร
4) เกรด C ลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

ด้านคุณภาพ ลำไยอบแห้งทั้งเปลือกประกอบด้วย

1) ไม่เน่า ไม่มีเชื้อรา ไม่มีแมลงเจาะทำลาย
2) ถ้าต้องการรักษาไว้ได้นาน ไม่มีมอดหรือเชื้อราทำลาย ควรใช้ลำไยสดที่มีขั้วและก้านที่ติดผลอยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ถ้าต้องการให้เปลือกของลำไยมีสีเหลืองควรใช้เฉพาะพันธุ์อีดอในการเป็นวัตถุดิบอบแห้ง

2. มาตรฐานลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อลำไย

ด้านปริมาณแบ่งตามสีของเนื้อออกเป็น 4 เกรด

1) เกรด A มีเนื้อสีทองเป็นผลชัดเจน ขนาดผลสม่ำเสมอ

2) เกรดคละมีเนื้อสีน้ำตาลทอง ขนาดผลไม่สม่ำเสมอ

3) เกรดคัดมีเนื้อเป็นสีน้ำตาลแดง นิยมเก็บไว้ทำน้ำลำไย หรือส่วนผสมของยาจีน

4) เกรดรวมมีเนื้อเป็นสีน้ำตาลดำ มีสิ่งเจือปนมาก

มาตรฐานด้านคุณภาพประกอบด้วย

1) เนื้อลำไยมีลักษณะเป็นขั้วลูก ไม่มีขั้วเมล็ดติดอยู่ที่เนื้อ ผลสม่ำเสมอ

2) มีสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอมของลำไย ไม่มีกลิ่นควันหรือกลิ่นเหม็นไหม้

3) รสชาติหวานไม่ขม

4) ไม่มีเปลือกติด และไม่มีสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ

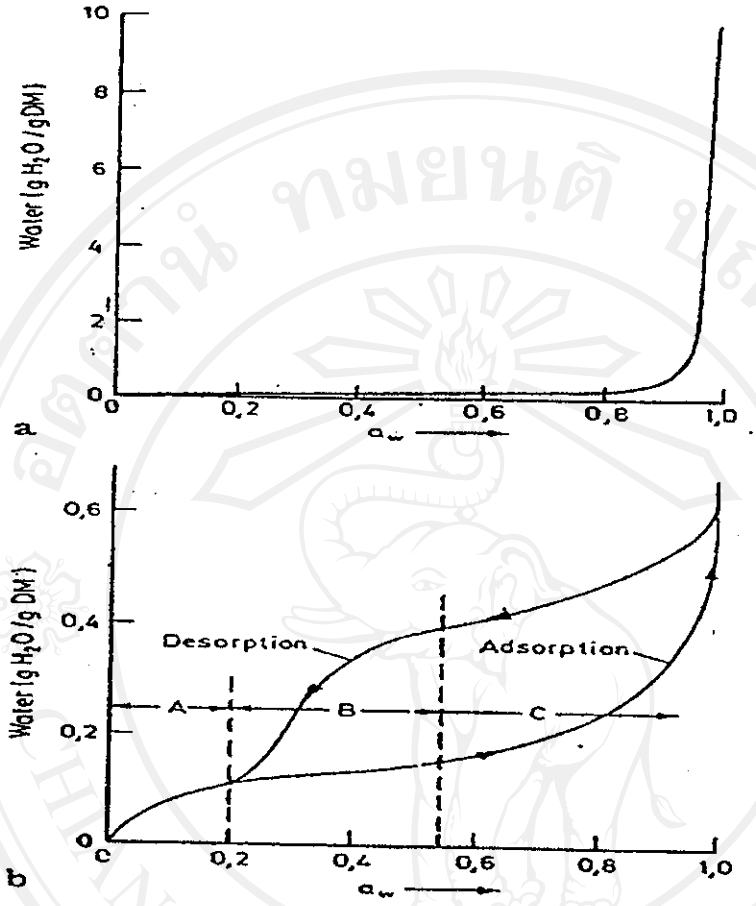
5) เนื้อลำไยจะแห้งมีความชื้นไม่เกิน 18 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 น้ำในอาหาร

วอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity; a_w) หรือค่ากัมมันตภาพน้ำ หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (p) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่จุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน (p_0) หรือ $a_w = p/p_0$ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารที่มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมน้ำหนักแห้งของอาหาร และค่า a_w แสดงในรูป 2.1(a) เมื่ออาหารมีความความชื้นลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ 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 หนึ่งๆปริมาณความชื้นของ desorption จะมากกว่า adsorption เสมอดังแสดงในรูป 2.1(b) กราฟ desorption isotherms เป็นการวิเคราะห์ระดับความแห้งของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นหรือความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ ลดต่ำลงจนถึงจุดสมดุลกับสภาวะแวดล้อม หรือความชื้นของอากาศขณะนั้น ดังนั้นจึงใช้ desorption isotherms สำหรับกระบวนการทำแห้ง (process of drying) (นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



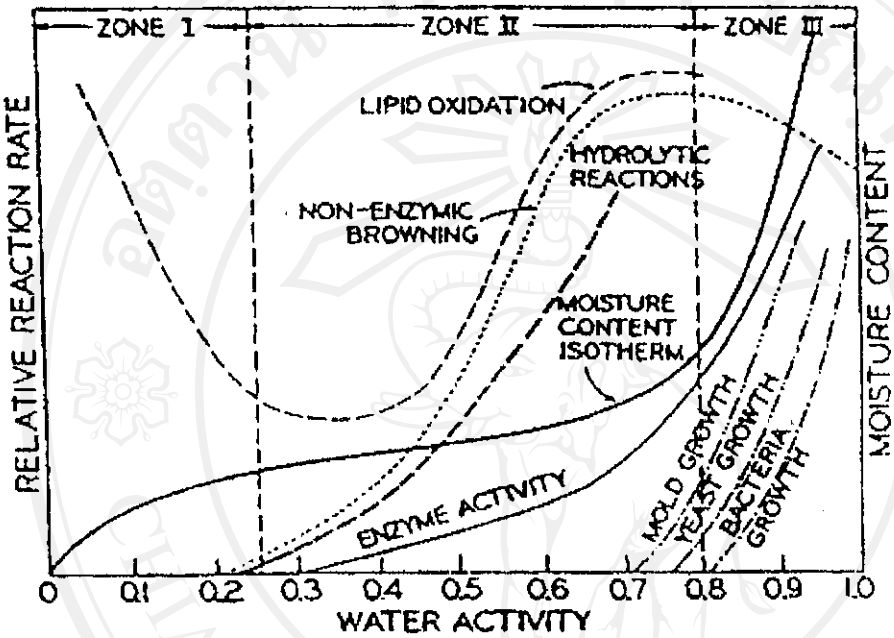
รูป 2.1 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่า a_w และ (b) กราฟ Sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับค่า a_w

ที่มา : Troller and Christian (1978)

สำหรับกราฟ adsorption หรือ resorption isotherms เป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ adsorption isotherms จะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic product และถ้าอาหารไม่มีความไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เพิ่มขึ้น เส้นกราฟจะมีความชันน้อย อาหารประเภทนี้เรียกว่า nonhygroscopic product

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารที่มีปริมาณกัมมันตภาพน้ำต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์จึงลดการเกิดสีน้ำตาลและลดการเหม็นหืน ดังนั้นอาหารที่มีค่ากัมมันตภาพน้ำต่ำจึงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าอาหารที่มีค่ากัมมันตภาพน้ำสูง อาหารที่สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดคือมีค่ากัมมันตภาพน้ำในช่วง 0.2 - 0.4 ดังรูป 2.2 (นิธิยา, 2545)



รูป 2.2 แสดงอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผันแปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ที่มา : Fennema (1996)

การจำแนกประเภทของอาหารโดยใช้ค่ากัมมันตภาพน้ำเป็นเครื่องวัดสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ใหญ่ๆ ดังนี้ (วิไล, 2545)

1. อาหารที่มีปริมาณกัมมันตภาพน้ำมาก หรือ High Moisture Food (HMF) เป็นอาหารที่มีปริมาณกัมมันตภาพน้ำอยู่ในช่วง 0.85-1.00 แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้

2. อาหารที่มีปริมาณกัมมันตภาพน้ำปานกลาง หรือ Intermediate Moisture Food (IMF) เป็นอาหารที่มีค่าปริมาณกัมมันตภาพน้ำอยู่ในช่วง 0.65-0.85 ยีสต์และราเจริญได้

3. อาหารที่มีปริมาณกัมมันตภาพน้ำต่ำ หรือ Low Moisture Food (LMF) เป็นอาหารที่มีค่าปริมาณกัมมันตภาพน้ำอยู่ในช่วง 0.01-0.65 จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 ความสำคัญของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ออาหาร

a_w	ปรากฏการณ์
0.95	ยับยั้งการเจริญของ *Pseudomonas,Bacillus,Clostridium perfringens* และยีสต์บางชนิด
0.90	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของแบคทีเรียทั่วไป เช่น *Salmonella, Vibrio paraheamolyticus , Clostridium botulinum, Lactobacillus* รวมทั้งยีสต์และราบางชนิด
0.85	ยีสต์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.80	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ส่วนใหญ่และการเจริญของเชื้อราส่วนใหญ่ *Staphylococcus aureus* ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.75	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับแบคทีเรียฮาโลไฟต์
0.70	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับเชื้อรา Xerophile ส่วนใหญ่
0.65	อัตราเร็วสูงสุดในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด
0.60	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของยีสต์และราประเภท Osmophile หรือ Xerophile
0.55	เกิดความผิดปกติกับกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับสิ่งมีชีวิต)
0.40	อัตราเร็วต่ำสุดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
0.25	ความต้านทานสูงสุดของสปอร์แบคทีเรีย

ที่มา : วิไล (2545)

2.3 กระบวนการทำแห้งอาหาร

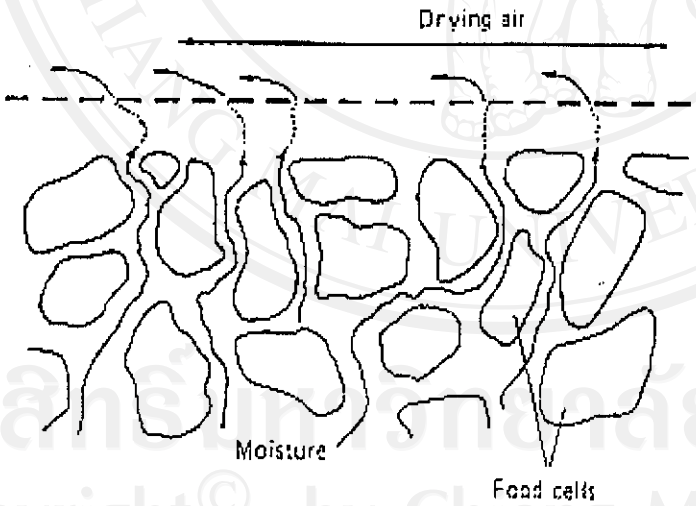
การทำแห้ง (drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่า 0.70 การทำแห้งเป็น การกำจัดความชื้นออกจากอาหาร เพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ ยืดอายุการเก็บรักษา โดยการลดความชื้นของอาหารลงจนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร (รุ่งนภา, 2535) โดยทั่วไปการแห้งของอาหารจะแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะปรับตัว เป็นระยะที่ผิวหน้าของอาหารปรับตัวให้สมดุลกับสภาวะของลมร้อน ระยะอัตราแห้งคงที่ ระยะนี้ผิวหน้าของอาหารจะอิ่มตัวด้วยน้ำ และ ระยะอัตราแห้งลดลง เมื่อความชื้นของอาหารลดลงต่ำกว่าความชื้นวิกฤตอัตราแห้งจะลดลงอย่างช้าๆ จนเกือบเป็นศูนย์ (ไพศาล, 2540) ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหารเพื่อทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วระเหยออกจากอาหาร ถ้าใช้พลังงานจากแสงแดดจะเรียกว่าการตากแห้ง ถ้าใช้พลังงานจากไฟฟ้า ก๊าซหรือไอน้ำในเครื่องอบแห้งจะเรียกว่า การอบแห้ง (สุคนธ์ชื่น, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร การใช้เครื่องอบแห้งจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารของอาหารได้อย่างรวดเร็ว การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งโดยการให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสลมร้อนจะทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำดังแสดงในรูป 2.3 การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อน (สุคนธ์ชื่น, 2539)

ประโยชน์ของการทำแห้ง

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



รูป 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : วิไล (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1 กลไกการเคลื่อนที่ของของเหลว (น้ำ) ในผลิตภัณฑ์

1. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจาก capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (surface force)

2. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (liquid diffusion)

3. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็กๆ (surface diffusion)

4. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (vapor diffusion)

5. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (thermal diffusion)

6. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (hydrodynamic flow) (สุคนธ์ชื่น, 2539)

2.3.2 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

3. ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชิ้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้กระจายของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย

7. ความเร็วของอากาศร้อน

อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ดังนั้นเมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที นอกจากนั้นความเร็วของอากาศร้อนยังทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.3.3 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ

1. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหาร

การอบแห้งจะระเหยไล่ความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้งจะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยา oxidation และถ้ามีการลวกหรือแช่สารเคมีก่อนการอบแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ วิตามินก็จะลดลงอีกและการอบแห้งโดยการตากแดดให้แห้ง วิตามินจะลดลงไปมากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องมืออบแห้ง คือการอบแห้งโดยวิธีการตากแห้งจะไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆได้ เช่น ความชื้น อากาศ แสงแดด อุณหภูมิ ส่วนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งจะสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวได้

2. ผลของการอบแห้งที่มีต่อโปรตีน

อาหารโปรตีนจะเสียคุณค่าไปมากน้อยเพียงไรนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการอบอาหารให้แห้ง ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิสูงโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำทำให้อาหารแห้งโปรตีนจะใช้ทำประโยชน์ได้มากกว่าแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ผลของการอบแห้งที่มีผลต่อคาร์โบไฮเดรต

การทำให้อาหารแห้งมีผลต่ออาหารพวกคาร์โบไฮเดรต จะมีปัญหาเรื่องการเกิดการเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งซึ่งเกิดจาก Non-enzymatic browning reaction ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากปฏิกิริยาของกรดอะมิโนในผลไม้กับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล การป้องกันโดยการใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือโซเดียมเมตาไบ-ซัลไฟท์ การรมควันจะสามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารแห้งได้ แต่อาหารนั้นต้องมีความชื้นต่ำมากๆ อาหารอบแห้งจะเกิดสีน้ำตาลถ้าอาหารนั้นมีความชื้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

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 จึงต้องลวกน้ำร้อนเสียก่อนหรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่จะนำไปอบแห้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความชื้นของอาหาร ถ้าความชื้นในอาหารลดลงปฏิกิริยาก็ลดลงด้วย แต่อัตราเร็วของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์และอาหารถ้าความชื้นลดลงต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้น

6. ผลของการอบแห้งที่มีต่อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเสียหายหรือเน่า การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดอาหารก็จะไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ความชื้นน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ เชื้อราจะเจริญเติบโตได้แต่แบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าความชื้นมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป การอบแห้งจึงนิยมใส่เกลือแกงลงในอาหารที่จะอบแห้งเพื่อควบคุมจุลินทรีย์ การลวกน้ำร้อนก่อนอบแห้ง กระบวนการทำต้องสะอาดและเมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อให้ดี ไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว

7. ผลของการอบแห้งที่มีต่อเม็ดสีในอาหาร

อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไป สีของอาหารจะเปลี่ยนไป เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) จะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานหรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถัน จะฟอกจางสีทำให้อาหารสีจางลง ดังนั้น พวกผักและผลไม้จึงมีการ fixed สีเสียก่อนอบแห้ง โดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อน เพื่อ fixed สีเสียก่อน จะไม่ทำให้สีผักผลไม้ชีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาล แต่จะทำให้อาหารแข็งกระด้างขึ้น แต่การอบแห้งยังทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า Maillard reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางอินทรีย์สารเกิดจากกรดอะมิโนผลไม้และน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นและทำให้กลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป (กุลยา, 2540)

2.3.4 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

การตากแห้งมีข้อด้อยคือ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิที่ไม่สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่แรงพอ ทำให้ต้องใช้เวลานาน ใช้พื้นที่มากและมักทำในที่เปิดโล่งจึงมักมีโอกาสปนเปื้อน (Potter and Hotchkiss, 1995) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งขึ้นมาใช้ เครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) เป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่ความดันบรรยากาศ ลักษณะของเครื่องมือจะเป็นตู้บุฉนวน มีถาดสำหรับใส่อาหารเรียงเป็นชั้นอยู่ภายใน ลมร้อนจะถูกบังคับให้หมุนเวียนโดยพัดลม การหมุนเวียนของอากาศจะเป็นในแนวนอนขนานกับถาดใส่อาหารหรือในแนวดิ่งผ่านทะลุใส่อาหาร ความเร็วของลมร้อนที่นิยมใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวนอนคือ 2–5 เมตร/วินาที ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งนิยมใช้ปริมาณอากาศร้อน 0.5–1.25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ต่อตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดของถาด แหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นการเผาไหม้ของก๊าซ ไอน้ำหรือจากขดลวดให้ความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะควบคุมให้อยู่ระหว่าง 50 - 70 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส อาหารจะแห้งเร็วเกินไปและมีสีคล้ำ เครื่องมือแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายในการสร้างและการบำรุงรักษาต่ำและมีความยืดหยุ่นของการใช้งานสูง นิยมใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็กหรือในโรงงานขนาดเล็ก เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นการอบที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับพาความชื้นออกจากอาหารค่อนข้างสูง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่อบ ดังนั้นคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เหมาะสมจึงควรเป็นประเภทที่ไม่ไวต่อความร้อนและเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าการตลาด (สมบัติ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

อุณหภูมิ อัตราเร็วในการไหล และการกระจายของลมร้อนภายในตู้อบเป็นปัจจัยสำคัญ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับการอบแห้งผักผลไม้แต่ละชนิดควรได้มาจากการทดลองเพื่อให้ได้การอบแห้งที่รวดเร็วและไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ อัตราเร็วในการไหลของลมขึ้น

อยู่กับความเร็วรอบและขนาดกำลังของพัดลมในการอบแห้ง 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)

2.3.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบถาดมีข้อเสียคือ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอที่ตำแหน่งต่างๆ กันภายในระบบ ดังนั้นจึงต้องหมุนถาดของผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยในการปรับปรุงการอบแห้งให้สม่ำเสมอ ปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่อยู่ใกล้กับทางเข้าออกของอากาศจะเกิดได้เร็วกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ใต้กระแสลมจะสัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นสูงกว่าทำให้แห้งช้ากว่า ดังนั้นการหมุนถาดหรือการกลับทิศทางการไหลของลมจะช่วยปรับปรุงกระบวนการอบแห้งให้สม่ำเสมอขึ้น เนื่องจากจะสัมผัสกับอากาศที่เวลาต่างๆ กันระหว่างช่วงการอบแห้ง การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบถาดสามารถทำได้โดยการติดตั้งระบบสุญญากาศภายในห้อง ระบบการทำแห้งนี้จะใช้สุญญากาศเพื่อรักษาความดันไอไว้ในที่ว่างรอบๆ ผลิตภัณฑ์ให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะต่ำได้ การลดความดันเช่นนี้จะทำให้อุณหภูมิที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ระเหยลดลงด้วย ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น (รุ่งนภา, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.7 การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

หากการอบแห้งไม่มีการควบคุมที่ดีทั้งด้านอุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบ และความหนาของชั้นอาหารที่บรรจุอยู่บนถาด ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จะมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ เกิดการเสื่อมคุณภาพ เช่น สีเปลี่ยนไม่เป็นที่ต้องการ เกิดการหดตัวของอาหาร (shrinkage) เกิดการแข็งของผิว (case hardening) และประสิทธิภาพการคืนรูปไม่ดี อย่างไรก็ตามปัญหาเหล่านี้แก้ไขได้โดยการปฏิบัติขั้นต้น (pretreatment) เช่น การแช่ในสารเคมีเพื่อให้สีของผลิตภัณฑ์คงเดิมมากที่สุด หรือการทำแห้งโดยวิธีออสโมติก (osmotic dehydration) เพื่อลดปริมาณความชื้นเริ่มต้นของอาหารก่อนการอบแห้ง ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง ส่วนการหดและการเกิดเปลือกแข็งเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ไม่ง่ายนัก การหดตัวของอาหารจะทำให้พื้นที่สำหรับการระเหยน้ำออกจากอาหารน้อยลง ทำให้อาหารแห้งช้า การแข็งของเปลือกนอกเกิดจากการแพร่ของสารละลายมายังผิวของอาหาร แต่ไม่สามารถระเหยออกไปได้ ทำให้ถูกกักไว้ที่ผิวด้านในของชิ้นอาหาร ทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ (พิไลรัก, 2541)

2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (Browning reaction in food)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2544)

2.4.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ การเกิดปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน (caramelization) และการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาทั้งสองมีสารตัวกลาง (intermediate) และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเหมือนกัน

2.4.2.1 ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน (Caramelization)

ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันจะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ (รัชนี, 2536) และสารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น ปฏิกิริยานี้เป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดโพลีเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล เช่น การเผาน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีพันธะคู่และเป็นวงแหวน (anhydro ring) มีความข้นหนืดและมีสีเข้มขึ้น ผันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้ (นิธิยา, 2543)

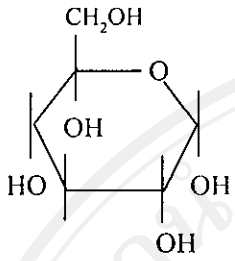
2.4.2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

ปฏิกิริยานี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตนกับสารประกอบกรดอะมิโน ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ให้สีได้และยังทำให้อาหารมีกลิ่นรสเปลี่ยนไปด้วย สารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนเป็นสารพวกคาร์บอนิล ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลมากที่สุด หรือสารที่เกิดจากการออกซิเดชั่นของน้ำมันและไขมันก็ได้ ส่วนสารประกอบกรดอะมิโน ได้แก่ กรดอะมิโนโดยเฉพาะไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่รวมกับคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดสีน้ำตาลมากที่สุด ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อนมีการสูญเสียน้ำ (dehydration) มีการสลายตัว (degradation) และมีการรวมตัวกัน (condensation) ซึ่งพัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ (จินตนา, 2534)

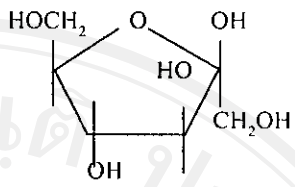
2.4.2.3 น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugars)

น้ำตาลรีดิวซ์ คือน้ำตาลที่มีหมู่อัลดีไฮด์หรือคีโตนอิสระซึ่งเป็น functional group เหลืออยู่ในโมเลกุล ทำให้สามารถรีดิวซ์สารที่เข้าทำปฏิกิริยา ส่วนน้ำตาลที่ไม่มีสมบัติดังกล่าวเรียกน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (รุ่งนภา, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

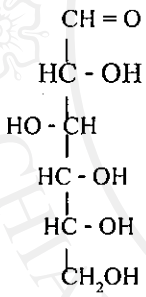


α-D-Glucose

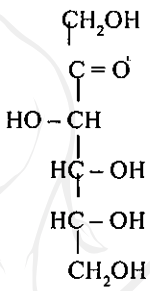


β-D-Fructose

รูป 2.4 โครงสร้างแบบวงแหวนของน้ำตาลรีดิวซ์



D-Glucose



D-Fructose

รูป 2.5 โครงสร้างแบบเส้นตรงของน้ำตาลรีดิวซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.4 ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคซิล-เอมีน

2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือคีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า Amadori product

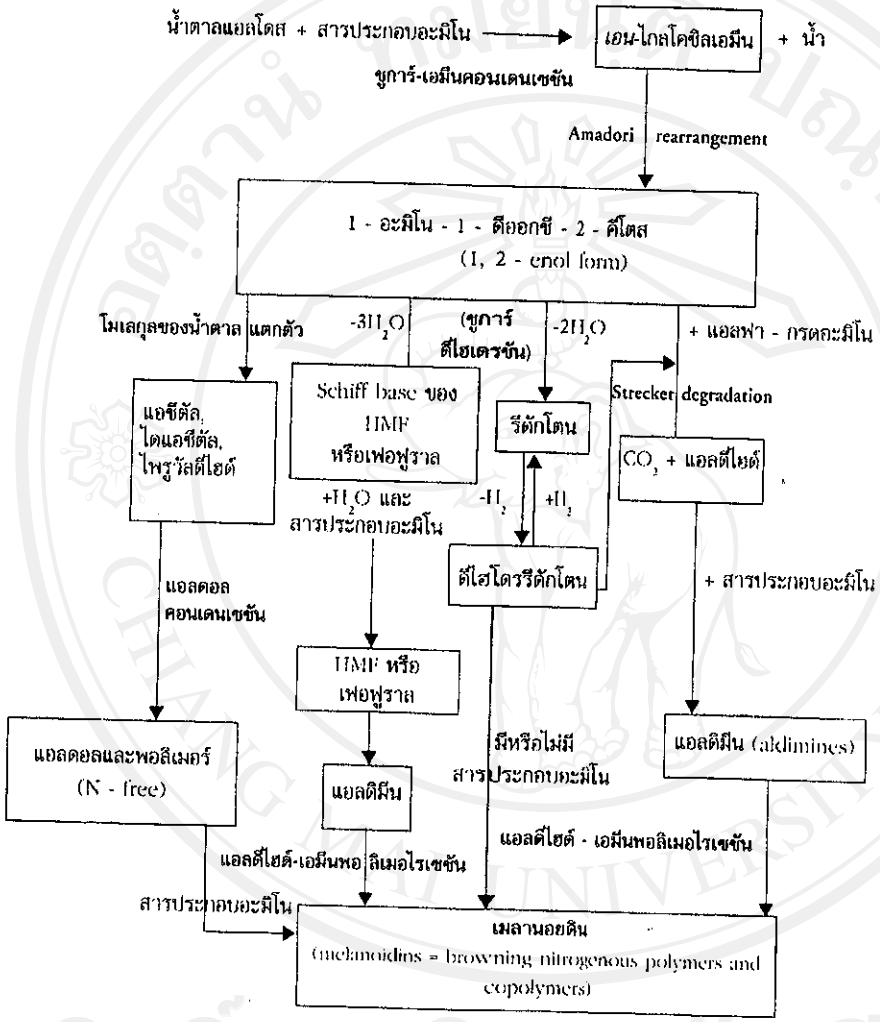
3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคีโตสเอมีนหรือไดอะ-มิโนซูการ์

4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้อนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮก-โซส อนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ หรือ HMF

5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดโพลีเมอไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไล-เซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่าเมลานอยดิน (melanoidins)

ดังนั้นโปรดักต์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงมีทั้งโพลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำ และพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ อยู่รวมกันและได้รับความร้อน ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือ ทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิ-โนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ซึ่งทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย (นิธิยา, 2543) ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แสดงในรูป 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.6 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Maillard reaction)
ที่มา : นิธิยา (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

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

2. ชนิดของสารประกอบอะมิโนในอาหาร ชนิดของกรดอะมิโนก็มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ด กรดอะมิโนชนิดแอลฟา (α-amino acid) กลัยซีนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดอะมิโนชนิดโอ-เมกา (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 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. อื่นๆ เช่น ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดนอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้อยู่ในรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ อิออน ทองแดง เหล็กและสังกะสี (นิธิยา, 2545)

2.4.2.6 การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของสับสเตรตแต่ละชนิดจะแตกต่างกันและยังแปรตามขั้นตอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (นิธิยา, 2545)

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

2.4.2.7 การยับยั้งปฏิกิริยาเมลลาร์ด

1. การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ดีที่สุด คือ การกำจัดสารสับสเตรตของปฏิกิริยา น้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ช้ากว่าน้ำตาลชนิดอื่น สามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยออกซิไดซ์ให้เป็นกรดกลูโคนิคด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส

2. การล้างก็เป็นวิธีการง่ายๆ ที่ช่วยลดปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนออกไปจากผิวนอกได้ เพราะสารเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี

3. ภาวะที่ใช้แปรรูปอาหารควรใช้อุณหภูมิต่ำที่สุด 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 โซเดียมและโพแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ จะยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลกับเอมีน โดยหมู่ซัลไฟต์จะไปรวมตัวกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลแอลโดส และทำให้เกิดสารประกอบซัลโฟเนตในขั้นตอนหลังๆ ของปฏิกิริยาอีกด้วย

8. หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งอาจทำได้โดยใช้สารต้านออกซิเดชัน สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งอาจใช้กรดแอสคอร์บิคได้ แต่การใช้ปริมาณกรดแอสคอร์บิคสูง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยานี้ได้เร็วขึ้น เนื่องจากเกิด oxidation degradation ของกรดแอสคอร์บิค และทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบคาร์บอนิลหรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้ (นิธิยา, 2545)

2.5 อายุการเก็บรักษาและภาชนะบรรจุ

การผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำหรืออาหารแห้งนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานที่สุด ซึ่งวิธีการตากแห้งเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายแต่ก็ไม่สามารถยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้นานตามที่ต้องการ จึงต้องใช้กรรมวิธีอื่นๆร่วมด้วยเช่น การอบด้วยเครื่องอบแห้ง (ปุ่นและสมพร, 2541) ในระหว่างการเก็บรักษานั้นผลิตภัณฑ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส ดังนั้นกรรมวิธีการเก็บรักษาและชนิดของภาชนะบรรจุจึงเป็นอีกตัวแปรที่สำคัญในการยืดอายุของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

1. ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงจะมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงนั้นจะต้องสามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ได้รับความเสียหายจากจุลินทรีย์ อาหารแห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงเนื่องจากมีความชื้นต่ำเช่น ผลไม้อบแห้ง แต่ต้องมีการรักษาค่ากัมมันตภาพน้ำ (a_w) ไม่ให้เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (สุคนธ์ชื่น, 2539) อาหารที่มีปริมาณน้ำต่ำหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเกิดขึ้นก็จะมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาแต่ถ้าค่ากัมมันตภาพน้ำเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นบ้างก็สามารถทำได้หากมีปัจจัยอื่นๆมาเกี่ยวข้อง เช่น pH เกลือ สารป้องกันจุลินทรีย์และอุณหภูมิ (ไพบูลย์, 2532)

2. สภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษา

สภาวะแวดล้อมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งต้องมีการจัดสภาวะให้เหมาะสม เพื่อควบคุมหรือหลีกเลี่ยงสภาวะที่เป็นปัจจัยที่จะนำไปสู่ความไม่คงตัวของอาหารแม้ว่าอาหารแห้งจะคงทนต่อจุลินทรีย์ แต่ก็ยังมีหลายสาเหตุที่ทำให้เสื่อมคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา เช่นแสง อุณหภูมิ ออกซิเจนและความชื้น (นิธิยา, 2544) หากไม่ควบคุมจะเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความไม่คงตัวได้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และต้องพิจารณาปริมาณความชื้นสมดุลย์ของอากาศในระหว่างการเก็บรักษาด้วย เพราะอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นสมดุลย์ของบรรยากาศเฉลี่ยอาหารจะดูดความชื้นจากอากาศจึงควรป้องกันโดยการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (สุคนธ์ชื่น, 2539)

3. ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารและช่วยยืดอายุอาหารระหว่างการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ (รุ่งนภา, 2544)

หน้าที่หลักของภาชนะบรรจุ คือ

1. หน้าที่ในการบรรจุ (containment) ซึ่งเป็นหน้าที่พื้นฐานก่อนที่จะเคลื่อนจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง

2. หน้าที่ในการเก็บรักษาป้องกัน (protection) ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของภาชนะบรรจุเป็นการป้องกันอาหารที่บรรจุอยู่ภายในจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะนำไปสู่ความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา เช่น ไอน้ำ แก๊ส กลิ่น จุลินทรีย์ ฝุ่น การสั่นและแรงอัดเป็นต้น รวมทั้งปัจจัยอื่นๆที่ส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมเสียของคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้นและออกซิเจน

3. หน้าที่ด้านความสะดวก (convenience) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถใช้ได้อย่างสะดวก

4. หน้าที่ในการสื่อสาร (communication) ใช้เป็นเครื่องมือทางการตลาด ภาชนะบรรจุต้องป้องกันสิ่งที่ขายและต้องขายสิ่งที่บรรจุอยู่ เช่น ทำให้ผู้ซื้อจำได้ง่าย การมี product code เพื่อให้การค้าปลีกทำได้เร็วหรือการมีข้อมูลทางด้านโภชนาการ

2.5.2 การเลือกใช้ภาชนะบรรจุ

การเลือกภาชนะบรรจุจะต้องมีความเข้าใจถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารว่าเป็นชนิดใดมีความไวต่อปัจจัยใดที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย เพื่อเป็นพื้นฐานของการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันได้อย่างเหมาะสม (John, 1993) เช่น ผลไม้อบแห้งมีปัจจัยหลักที่นำไปสู่ความไม่คงตัวคือ ออกซิเจนและความชื้น ดังนั้นภาชนะบรรจุที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งจึงควรมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของทั้งออกซิเจนและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นได้เป็นอย่างดี โดยวัสดุที่นิยมใช้คือ โพลิเมอร์ฟิล์ม (Gordon, 1993) แต่โพลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการป้องกันและมีอัตราการซึมผ่านเข้าออกของสารต่างๆได้แตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2.6

ตาราง 2.6 คุณสมบัติในการซึมผ่านของก๊าซชนิดต่างๆของโพลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุ

ชนิดของโพลิเมอร์	อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (มิลลิลิตรต่อ 100 ตารางนิ้ว)			อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (มิลลิกรัมต่อ 100 ตารางนิ้ว)
	O_2	CO_2	N_2	
Polyolefins				
Low Density Polyethylene (LDPE)	500	2700	180	1.0-1.5
Medium Density Polyethylene (MDPE)	250-535	1000-2500	85-315	0.7
High Density Polyethylene (HDPE)	185	580	42	0.3
Polypropylene (PP)	150-240	500-800	40-48	0.7
Biaxially Oriented Polypropylene (OPP)	100-160	540	20	0.25-0.4
Ionomers				
Ethylene-Vinyl Copolymers	300-400	600-1000	50-100	1.5-2.0
Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers (EVAC)	840	6000	400	2.0-2.3
Ethylene-Vinyl Alcohol (EVOH)				
-dry	0.01-0.09	-	-	-
-wet	0.65-2.03	-	-	1.4-3.8
Vinyl Plastics				
Polyvinyl Chloride (PVC)				
-non plasticized	4-30	4.50	1	0.9-5.0
- plasticized	100-1400	20-12000	-	5-4.0
Polyvinylidine Chloride (PVCD)				
-Homopolymer	0.1	-	-	0.044
-Copolymer	0.08-0.25	0.38-6.0	0.012-0.16	0.05-0.2

ที่มา : John (1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 2.6 โพลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้โพลิเมอร์จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสำคัญ จึงควรเลือกภาชนะบรรจุที่สามารถ

1. ป้องกันความชื้นได้ดี เช่น HDPE OPP หรือ OPP เคลือบด้วย PVDC

2. ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี เช่น PET หรือไนลอน

3. ป้องกันแสงในการเร่งปฏิกิริยา ตัวบรรจุภัณฑ์ควรพิมพ์เป็นสีทึบหรือเคลือบด้วย aluminium foil

2.5.3 การบรรจุผักและผลไม้อบแห้ง

กรรมวิธีในการบรรจุผักและผลไม้อบแห้งอาจทำได้ 4 วิธี (รุ่งนภา, 2544) คือ

1. การบรรจุภายใต้สุญญากาศ (vacuum packing) เป็นการบรรจุผักผลไม้อบแห้งในภาชนะ แล้วทำการดูดอากาศออกจนหมดค่าความเป็นสุญญากาศที่ใช้ตั้งแต่ 24 นิ้วปรอทขึ้นไป

2. การบรรจุภายใต้ก๊าซเฉื่อย (gas packing) เป็นการบรรจุผักผลไม้อบแห้งในภาชนะ ดูดอากาศออกหมดแล้วทดแทนด้วยก๊าซเฉื่อย ที่นิยมใช้คือ ไนโตรเจน โดยให้มีปริมาณออกซิเจนเหลือภายในภาชนะ 2%

3. การใช้สารดูดความชื้นในภาชนะบรรจุ (in-package desiccation) ผักผลไม้บางชนิดอาจขจัดน้ำส่วนใหญ่ออกไป แล้วใช้สารเคมีเป็นตัวดูดความชื้นส่วนเกินออกไปในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยการบรรจุสารเคมีดังกล่าวในถุงที่มีคุณสมบัติให้ความชื้นซึมผ่านเข้าออกได้ แล้วนำมารวมบรรจุเข้ากับภาชนะบรรจุที่ใช้บรรจุผักผลไม้แห้ง เพื่อที่สารเคมีดังกล่าวจะได้ไม่สัมผัสหรือปะปนกับอาหาร สารเคมีที่นิยมมากที่สุดคือ ซิลิกาเจล เป็นสารที่มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้สูง สามารถดูดน้ำได้ราว 40% ของน้ำหนักสาร

4. การบรรจุในบรรยากาศปกติ (atmospheric packing) เป็นการบรรจุผักผลไม้อบแห้งในภาชนะบรรจุและปิดผนึกให้สนิท ไม่ให้อากาศความชื้นและแมลงเข้าไปทำลายได้ เป็นวิธีการบรรจุที่นิยมใช้กันมากเพราะง่ายและต้นทุนต่ำ แต่การบรรจุวิธีนี้ชนิดและคุณสมบัติของภาชนะบรรจุเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมาก จึงจะรักษาคุณภาพของผักและผลไม้อบแห้งให้คงสภาพไว้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 วัตถุเจือปนอาหาร

2.6.1 กรดซิตริก

กรดซิตริกเป็นสารที่ช่วยปรับปรุงความเป็นกรด (acidulant) ในกระบวนการแปรรูปผักผลไม้นั้น จะมีการใช้กรดร่วมด้วยเสมอ ด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น แต่งรสชาติ ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง เพื่อป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ และลดอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น การใช้กรดในผลิตภัณฑ์แช่อิ่มจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของสารสีจำพวกฟลาโวนอยด์ได้ดี ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้ ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ กรดซิตริกไม่ได้กำหนดหรือควบคุมปริมาณการใช้สูงสุดไว้ กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากตามธรรมชาติในพืชและสัตว์ ในมนุษย์จะมีการสร้างกรดซิตริก ในระหว่างการเมตาโบไลต์คาร์โบไฮเดรตและไขมัน ส่วนในพืชจะพบกรดซิตริกมาก ในพืชตระกูลส้มพบประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์ มะนาว 1.2-2.1 เปอร์เซ็นต์ เกรฟฟรุ๊ต 0.9-1.2 เปอร์เซ็นต์ ส้มเขียวหวาน 0.6-1.0 เปอร์เซ็นต์ กรดซิตริกมีคุณสมบัติดีกว่ากรดชนิดอื่นๆ คือละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพสูง จึงมีการนิยมใช้กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริกในอุตสาหกรรมอาหารกันมาก (ศิวาพร, 2546)

2.6.2 กรดแอสคอร์บิคและเกลือของอนุพันธ์กรดแอสคอร์บิค

กรดแอสคอร์บิคได้มีการนำมาใช้เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหารมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว และในปัจจุบันยังมีการใช้กันอยู่ ตัวอย่างการใช้กรดแอสคอร์บิคแบบภูมิปัญญาชาวบ้านในประเทศไทย คือการจุ่มหัวปลีที่หั่นแล้วในน้ำมะนาว พบว่าจะสามารถป้องกันสีน้ำตาลที่จะเกิดขึ้นได้ กรดแอสคอร์บิคเป็นกรดที่พบทั่วไปในพืช โดยเฉพาะพืชตระกูลส้ม มีลักษณะเป็นผลึกละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นรีดิวซิงเอเจนต์ที่มีประสิทธิภาพดีมาก เมื่ออยู่ในรูปของเหลว ในสภาวะที่มีอากาศและแสงจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว และปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นถ้ามีด่าง เหล็ก และทองแดงเป็นตัวเร่ง แต่เมื่ออยู่ในรูปเกลือโซเดียมจะมีความคงตัวมากกว่า Esselen and Power (1945) ได้ทดลองเติมกรดแอสคอร์บิคหรืออีริกทอร์บิค (d-isoascorbic) ลงในน้ำเชื่อมแล้วจุ่มแอปเปิลหรือพีชที่ฝานเป็นแผ่นบาง ก่อนการนำไปทำเยือกแข็งปรากฏว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ กรดแอสคอร์บิคและอีริทอร์เบตนั้นจะมีประสิทธิภาพในการเป็นสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้คล้ายกันแต่อีริทอร์เบตไม่มีคุณสมบัติเป็นวิตามินซี (Saper and Ziolkowski, 1987) การใช้กรดแอสคอร์บิคและอีริทอร์เบตในอาหารบางครั้งจะมีการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก และวัตถุที่ช่วยให้คงตัว เช่น แคลเซียมคลอไรด์ร่วมด้วย เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดีขึ้น การที่กรดแอส-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คอร์บิคสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้เนื่องมาจากกรดแอสคอร์บิคสามารถรีดิวซ์ควิโนน (quinones) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการออกซิเดชันของโพลิฟีนอล ที่มีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่งกลับไปเป็นไดไฮดรอกซีโพลิฟีนอล ถ้าไม่มีการสะสมของควิโนน ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่จะเกิดขึ้นก็จะไม่เกิดขึ้น แต่เมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิคลดลง การสะสมของควิโนนก็จะเกิดขึ้น ทำให้สีน้ำตาลเกิดขึ้นได้ (Vamos-Vigyazo, 1995) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydroascorbic acid) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิค จะเป็นสาเหตุให้เกิดสีน้ำตาลแบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ได้ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ Sapers (1991) ได้รายงานว่าน้ำแอปเปิลและน้ำลูกแพร์ที่ไม่ได้มีการเติมกรดแอสคอร์บิค แล้วเก็บไว้ระหว่างรอการกรองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้

2.6.3 แคลเซียมคลอไรด์

เป็นสารที่ช่วยให้เนื้อเยื่อของผักและผลไม้มีความคงตัว (firming agent) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้อนุมูลแคลเซียม หรืออะลูมินัม เมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกติกจะเกิดเป็นเกลือเพกเตท ซึ่งทำให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรงขึ้นและทนต่อความร้อนได้มากยิ่งขึ้น การใช้สารประกอบแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้นั้น กฎหมายอนุญาตให้ปริมาณสูงสุดของแคลเซียมไม่เกิน 800 ppm. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ส่วนผลไม้แช่อิ่มจะมีแคลเซียมได้ไม่เกิน 250 ppm. Saper and Miller (1998) ได้ทดลองจุ่มลูกแพร์หั่นชิ้นในสารละลาย 4-เฮกซิลเรโซซินอล โซเดียมอิริทอร์เบต และแคลเซียมคลอไรด์เก็บในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศ พบว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของลูกแพร์ได้ และช่วยให้เนื้อสัมผัสดีขึ้นรวมทั้งยืดอายุการเก็บรักษาด้วย Dong *et al.* (2000) ทดลองจุ่มลูกแพร์หั่นชิ้นในสารละลาย 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิค และแคลเซียมแล็กเตตบรรจุในภาชนะบรรจุกึ่งสุญญากาศ แล้วเก็บไว้ที่ 5 องศาเซลเซียสพบว่าจะได้ลูกแพร์ที่มีเนื้อสัมผัสดีขึ้น และมีอายุการเก็บรักษาถึง 30 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัชนี และคณะ (2535) ศึกษาวิธีการชะลอการเน่าเสียของลำไย โดยแช่ลำไยในสารละลายต่างทับทิมความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นอบลำไยโดยใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดระยะเวลาการเก็บรักษาได้

Santerre *et al.* (1988) รายงานว่าการใช้สารผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิค, กรดอิริทอร์บิค และกรดซิตริก สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลหั่นชิ้นได้ Santerre *et al.* (1991) รายงานว่าการแช่มันฝรั่งหั่นชิ้นในสารละลายของกรดอิริทอร์บิค 3.0 เปอร์เซ็นต์หรือกรดซิตริก 0.2 เปอร์เซ็นต์ สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลซึ่งให้ค่า L (Lightness) เหมือนหรืออาจดีกว่าการใช้ซัลไฟต์ Roig *et al.* (1999) พบว่าสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ของน้ำส้มพาสเจอไรซ์บรรจุกล่อง เกิดจากการสลายตัวของ L-Ascorbic acid ไปเป็นสารประกอบคาร์บอนิล โดยพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าคงที่ James (2002) ได้แช่ลูกแพร์สดหั่นชิ้น ในสารละลายผสม กรดแอสคอร์บิค 2 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมแล็กเตต 1 เปอร์เซ็นต์ และซีส-เตอีน 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาทีแล้วปรับ pH ให้เป็น 7 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสารละลายผสมสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของลูกแพร์ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 8 วัน ที่ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิค 2 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของลูกแพร์หั่นชิ้นได้ Son *et al.* (2001) ได้ใช้สารละลายผสมของ กรดออกซาลิก 0.02 เปอร์เซ็นต์ กับกรดแอสคอร์บิค 1.0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อแอปเปิลหั่นชิ้นพบว่าให้ผลดีกว่าการใช้กรดออกซาลิก กรดแอสคอร์บิค และ อนุพันธุ์ของกรดแอสคอร์บิค เพียงอย่างเดียว

Monsalve-Gonzalez *et al.* (1993) ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาแอปเปิลหั่นชิ้นโดยการใช้หลายวิธีร่วมกัน ซึ่งใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นสารต้านการเกิดสีน้ำตาล พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลหั่นชิ้นทั้งสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์โดยใช้หลายวิธีร่วมกันในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิต่างๆ 4 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับโซเดียมซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิค-2-ฟอสเฟต พบว่าแอบเปิลหั่นชิ้นเมื่อแช่ในสารละลายซูโครส 52 องศาบริกซ์ (สารละลายซูโครสประกอบด้วยกรดซิตริค 0.2 เปอร์เซ็นต์ และกรดซอร์บิค 0.15 เปอร์เซ็นต์) ที่มี 4-เฮกซิลเรโซซินอล 200 ส่วนในล้านส่วน เป็นเวลา 10 ชั่วโมงทำให้สามารถเก็บรักษาแอปเปิลหั่นชิ้นได้นาน 32 วัน ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดสีน้ำตาล Monsalve-Gonzalez *et al.* (1995) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลโดยใช้ 4-เฮกซิล-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เรโซซินอล พบว่าความเข้มข้นของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่มากกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ปริมาณการตกค้างในเนื้อเยื่อ สูงขึ้นและมีผลต่อกลิ่นรสของแอปเปิล และเมื่อใช้สารละลาย 4-เฮกซิลเรโซ-ซินอล 0.05 เปอร์เซ็นต์จะมีรสขม Lee-Kim *et al.* (1997) ศึกษาการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพ ลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในหญ้า Burdock โดยใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิค กรดซิตริค และไบซัลไฟต์ พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้ง PPO ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สารต้านการเกิดสีน้ำตาลตัวอื่นรวมถึงไบซัลไฟต์มี ประสิทธิภาพน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ สารผสมของ4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิคที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ Buta *et al.* (1999) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิลสดหั่นชิ้น พบว่าการใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 0.001 โมลาร์ ไอโซแอสคอร์บิค 0.5 โมลาร์และเอน-อะซิติลซีสเตอีน 0.025 โมลาร์ สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้นาน 5 สัปดาห์ที่ 5 องศาเซลเซียส

Bolin and Steele (1987) พบว่าสารละลายแคลเซียมทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ในมันฝรั่งอบแห้งช้าลง Pizzocaro *et al.* (1993) พบว่าการใช้สารละลายผสมของกรดแอสคอร์บิคและแคลเซียมคลอไรด์สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลหั่นชิ้นได้ Luo and Barbosa-Canovas (1995) พบว่าแอปเปิลหั่นชิ้นที่จุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วย 4-เฮกซิลเรโซซินอล 0.01 เปอร์เซ็นต์ กรดแอสคอร์บิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมคลอไรด์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที ร่วมกับการบรรจุแบบ partial vacuum (20 inch Hg vacuum) และเก็บที่อุณหภูมิต่ำ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 50 วันโดยไม่เกิดสีน้ำตาล Sapers and Miller (1998) ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในลูกแพร์หั่นชิ้น โดยแช่ในสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมอิริทอร์เบต 4.0 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมคลอไรด์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 0.001 โมลาร์ ไอโซ-แอสคอร์บิค 0.5 โมลาร์ และ เอน-อะซิติลซีสเตอีน 0.025 โมลาร์ พบว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้นาน 5 สัปดาห์เก็บที่ 5 องศาเซลเซียส

Ozdemir *et al.* (2000) พบว่าค่ากัมมันตภาพน้ำมีผลต่อสีของผล hazelnuts อบ อย่างมีนัยสำคัญซึ่งถ้าค่ากัมมันตภาพน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้การเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษาค่ากัม-มันตภาพน้ำในช่วง 0.29-0.83 ต่อการเกิดสีน้ำตาลของผล hazelnuts อบ พบว่าที่ค่ากัมมันตภาพน้ำเท่ากับ 0.29 จะทำให้ผล hazelnuts อบ เกิดสีน้ำตาลน้อยสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved