

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

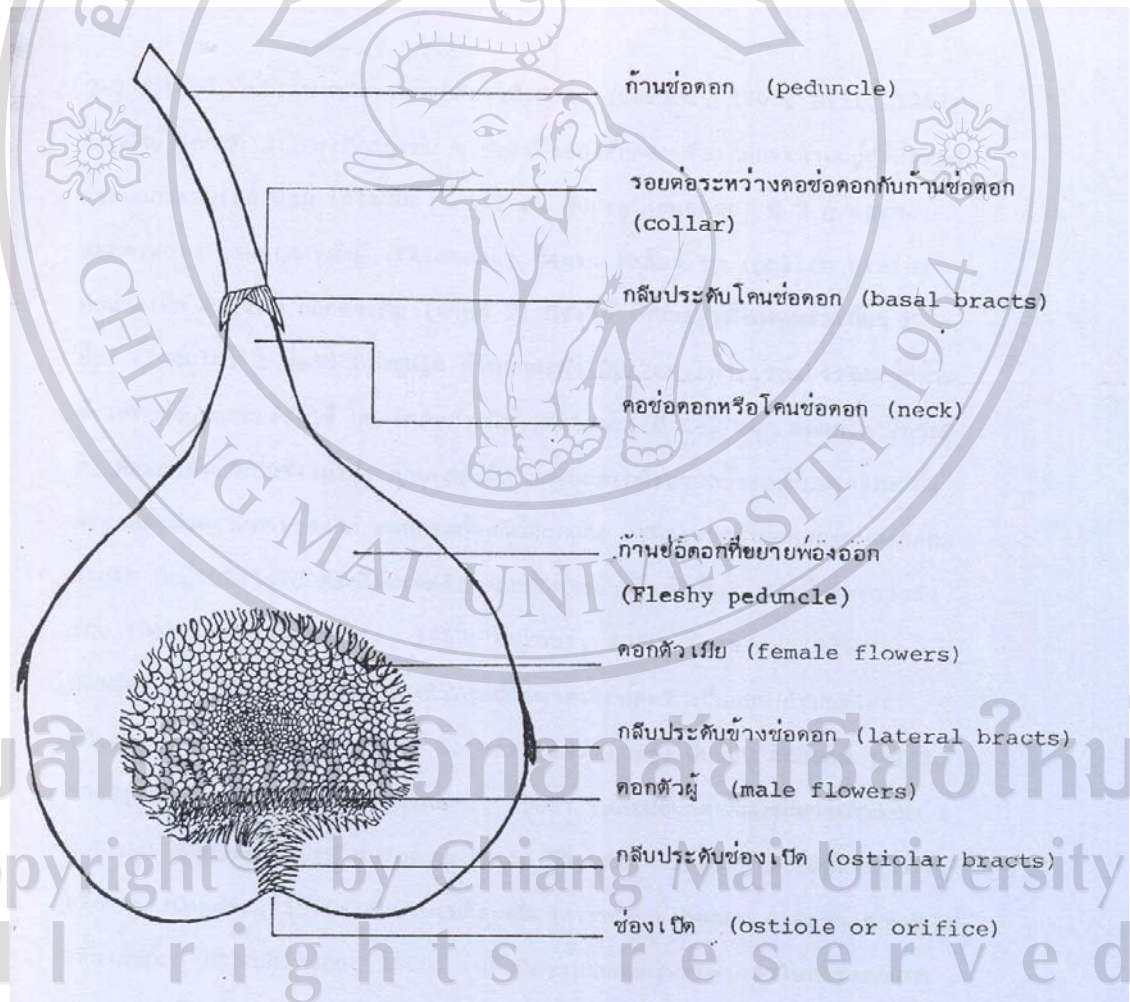
2.1 มะเดื่อ

มะเดื่อ เป็นพืชสกุล *Ficus* อยู่ในวงศ์ *Moraceae* เป็นพันธุ์ไม้ที่มีถิ่นกำเนิดและแพร่กระจายในเขตร้อนและเขตอบอุ่นของทวีปต่างๆ ทั่วโลก พบมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในประเทศไทยสามารถพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศทั้งในพื้นที่ราบและที่ที่มีระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลต่างๆ กัน มีทั้งที่เป็นพันธุ์ไม้พื้นเมืองและพันธุ์ไม้ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ มะเดื่อและไทรมีลักษณะผลดังรูป 2.1 (วิรัตน์, 2526)

Ficus เป็นภาษาละตินและมีชื่อเรียกในภาษาต่างๆ ดังนี้คือ fag จากภาษาอินเดีย feg จากภาษาฮีบรู fico จากภาษาอิตาเลียน และ fegge หรือ figge จากภาษาอังกฤษ ต่อมาถูกตัดทอนเป็น fig ซึ่งเป็นคำที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน พันธุ์ไม้สกุลนี้มีทั้งหมดประมาณ 1000 ชนิด บนคอสูเทพ-คอสบูย จังหวัดเชียงใหม่ พบพืชสกุลไทรและมะเดื่อ 21 ชนิด (วิรัตน์, 2527) มะเดื่อเป็นพืชสกุลเดียวกับไทร และโพธิ์ เป็นไม้ยืนต้น มีรากอากาศ มียางขาวชุ่มคล้ายน้ำมัน หูใบ (stipules) เล็กหรือใหญ่ และหุ้มปิดปลายยอด ดอกมีขนาดเล็ก ใบเป็นใบเดี่ยวเรียงสลับ (alternate) (ก่องกานดา, 2541) เรียงเวียน (spiral) เรียงสลับระนาบเดียว (distichous) เรียงตรงข้าม (opposite) หรือบางครั้งพบแบบวนรอบ (subverticillate) เป็นพืชแยกเพศและไม่แยกเพศ ซึ่งกลุ่มที่แยกเพศนั้นจะพบต้นที่มีดอกเพศผู้และดอกเพศเมียที่มีก้านเกสรตัวผู้ (gall flower) อยู่รวมกันในช่อดอก เรียกว่าช่อดอกเพศผู้และต้นเพศเมียที่มีแต่ดอกเพศเมียที่มีก้านเกสรตัวเมียในช่อดอกเท่านั้น เรียกว่าช่อดอกเพศเมีย ส่วนกลุ่มที่ไม่แยกเพศจะพบดอกทั้งสามชนิดในช่อดอกเดียวกัน

มะนอด เป็นมะเดื่อชนิดหนึ่งมีชื่อพื้นเมืองตามแต่ละท้องถิ่นในประเทศไทย เช่น เตื่อปล้องหิน (ภาคใต้), แม่นอน (ยะลา), นอด (น่าน), มะน้อคคว้าย (เชียงใหม่) และมะเดื่อขน (เชียงราย) (สวนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2544) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ficus semicordata* B. Ham. ex J. E. Sm. ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ *Moraceae* สกุลย่อย *Sycomorus* หมู่ *Hemicardia* (Berg and Corner, 2005) พบในพื้นที่ที่มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 1,000 เมตรขึ้นไป มะนอดเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก

สูงประมาณ 6-8 เมตร ลำต้นมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา กิ่งอ่อนสีเขียวปนน้ำตาล มีขนปกคลุม กิ่งอ่อนกลาง ใบเป็นใบเดี่ยวจัดเรียงแบบสลับ (alternate) รูปร่างใบเป็นรูปไข่หรือรี (ovoid or elliptic) ฐานใบรูปหัวใจและมีสองด้านไม่เท่ากัน (oblique) ผิวใบสาบทั้งสองด้าน มีขนปกคลุมหนาแน่น มะนอดเป็นต้นแยกเพศ (Wang *et al.*, 2003) ช่อดอกเกิดเป็นกลุ่มบนกิ่งที่แตกจากลำต้น หรือกิ่งที่มีอายุมาก ส่วนใหญ่พบบริเวณโคนต้น บางครั้งพบแทงลงดิน ช่อดอกอ่อนมีสีแดงหรือสีเขียวอมแดง หรือสีเขียวอมน้ำตาล มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 เซนติเมตร ผลสุกมีสีแดงสามารถรับประทานได้ มีรสหวาน จากการศึกษาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของมะนอด พบว่า ผลของมะนอดมีวิตามินซี 28 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และยังมีอุดมไปด้วยแร่ธาตุต่างๆ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Zhao *et al.*, 2001)



รูป 2.1 ลักษณะภายในไทรและมะเดื่อ

ที่มา : วิรัตน์, 2527

ประโยชน์ของพันธุ์ไม้สกุล *Ficus* สามารถใช้ได้ทุกส่วนของพืชโดยอาจใช้เป็นอาหารจากยอดอ่อน ใบอ่อน ช่อดอกอ่อนและแก่ มีคุณค่าทางการแพทย์ การทำยาง การทำกระดาษและเครื่องนุ่งห่ม น้ำยางของมะเดื่อ มีสาร figcin ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการช่วยย่อยโปรตีน นอกจากนี้ยังใช้เป็นอาหารและผลไม้ เป็นไม้ประดับและให้ร่มเงา เป็นพืชสมุนไพร เช่น แก้วโรคท้องร่วง ใช้ล้างบาดแผล เป็นยาสมานแผล ยาแก้ไอ รักษาฝี ทาแผลบริเวณฟกช้ำ ใช้เป็นยาถ่าย ยาระบายที่ดี (วิรัตน์, 2527)

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะนอดกลุ่มที่มีเส้นกลางใบสีเหลือง (คณาสิทธิ์, 2549)

สารอาหาร	ปริมาณ
ความชื้น (%)	84.03
โปรตีน (%)	1.06
ไขมัน (%)	0.18
เถ้า (%)	0.77
กาก (crude fibre) (%)	4.78
คาร์โบไฮเดรต (%)	13.96
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100g)	3.17
วิตามินเอ (β -carotene) (μ g/100g)	4.33
วิตามินซี (mg/100g)	1.31

2.2 ผลไม้แห้ง

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลไม้แห้ง หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้มาผ่านกรรมวิธีตามความเหมาะสม (ไม่รวมวิธีการหมักดอง) แล้วนำมาลดความชื้นที่มีอยู่ในวัตถุดิบออกตามต้องการโดยกรรมวิธีธรรมชาติหรือใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม โดยจะมีการปรุงแต่งรสหวานด้วยน้ำตาลหรือไม่ก็ได้ การคั่งน้ำออกจากผลไม้แห้งควรมีปริมาณน้ำไม่เกิน 25 % มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.65-0.85 (อรุณี, 2530)

2.3 การแช่ส้ม

การแช่ส้มเป็นวิธีถนอมผลไม้และผักบางชนิดโดยแช่ในน้ำเชื่อม น้ำตาลจะช่วยดึงน้ำออกจากผักและผลไม้ ขณะเดียวกันน้ำตาลก็ซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักหรือผลไม้แทนของน้ำจนอึดตัว ทำให้ผักหรือผลไม้มีรสหวานขึ้น เช่นมะละกอแช่ส้ม พริกแช่ส้ม เปลือกส้มแช่ส้ม เป็นต้น (บุหลัน, 2538)

2.3.1 การแช่ส้มแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. การแช่ส้มแบบเร็ว การแช่ส้มแบบนี้ก็คือการเชื่อมให้แห้ง ลักษณะของที่ได้จะไม่ค่อยสวย บางทีจะเหนียวและแข็ง เพราะน้ำเชื่อมมีความเข้มข้นสูง เช่น มะเขือเทศ พริกแช่ส้ม เปลือกส้มโอ เป็นต้น ฯลฯ

2. การแช่ส้มแบบช้า เป็นการแช่ส้มแบบค่อยเป็นค่อยไป เป็นวิธีการที่ดีที่สุด จะทำให้ผักหรือผลไม้ไม่หดตัวมาก ลักษณะที่ได้จะสวย เก็บได้ทน วิธีการทำคือน้ำเชื่อมที่ใช้ครั้งแรกจะเข้มข้นปานกลางประมาณ 30 % ถ้ามากกว่านั้นอาจทำให้ผักหรือผลไม้เหี่ยวจน ควรเพิ่มน้ำตาลลงไปทีละน้อย ประมาณ 10 % ทำซ้ำกันทุกวัน จนกระทั่งน้ำเชื่อมข้น แต่ไม่เกิน 65 % และควรเติมกรดซิตริกลงไป เพื่อไม่ให้น้ำเชื่อมดำผลึกเมื่อผลไม้หรือผักอึดตัวแล้วให้นำไปผึ่งแดดหรืออบให้แห้ง

2.3.2 หลักในการแช่ส้ม

1. ผักหรือผลไม้ที่จะทำการแช่ส้มต้องทำให้ผักหรือผลไม้มีรสขม ชื่นหรือเปรี้ยวลดลง เหลือแต่รสจืด โดยวิธีการต่างๆ เช่น แช่ในน้ำเกลือ น้ำปูนใสหรือ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

2. การแช่ส้มต้องรักษาสีของผักและผลไม้ให้คงเดิมมากที่สุด เพื่อให้เกิดความน่ารับประทานบางครั้งอาจมีการใช้สีผสมอาหารช่วยเพิ่มความสวยงาม

3. การแช่ส้มจะเพิ่มความหวานโดยการถายน้ำเชื่อมที่แช่ออกมาเคี้ยวใหม่ เติมน้ำตาลกลับไปแช่อีก จนกว่าน้ำตาลจะซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้

4. เวลาแช่ควรให้ผักหรือผลไม้จมนอยู่ในน้ำเชื่อมเพื่อจะทำให้ดูดซึมดีขึ้น

2.3.3 การเลือกผักและผลไม้ที่จะใช้การแช่เย็น

1. ผักและผลไม้ที่นำมาแช่เย็นต้องมีลักษณะห้าม ยังไม่สุก เพราะถ้าสุกจะทำให้เน่า

2. ผักและไม้ต้องสด ใหม่ ไม่ช้ำ หรือมีตำหนิ

2.3.4 ขั้นตอนในการแช่เย็นผักผลไม้

1. เลือกผักและผลไม้ที่ใช้

2. ล้างทำความสะอาด ตัดแต่ง ในกรณีที่มีเมล็ดให้คว้านออก หั่นหรือแกะสลักให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ถ้ามีเนื้อหนามากให้ใช้ของแหลมแทงตามผิวให้ทั่ว เพื่อให้ น้ำตาลซึมเข้าเนื้อได้ง่าย

ก. กำจัดความขมหรือเฝื่อนโดยการลวกหรือเปลี่ยนน้ำทิ้งหลายๆครั้งเช่น มะระจีนก เป็ลือกส้มโอ

ข. นำเกลือเพื่อลดความเปรี้ยว ขึ้น เช่น มะขม มะดัน มะกอก มะม่วง

ค. แขน้ำปูนใสเพื่อให้กรอบขึ้น เช่น มะละกอ สับปะรด มะม่วง

3. แขน้ำเชื่อมโดยเริ่มที่น้ำตาลความเข้มข้นประมาณ 30 % เพิ่มขึ้นทีละ 10 % และไม่ควรมากกว่า 65 %

4. ถ้าต้องการให้แห้งอาจนำไปผึ่งแดดหรืออบแห้ง

5. นำไปบรรจุในภาชนะที่แห้งมีฝาปิดสนิท อย่าเก็บในที่ชื้นหรือถูกแสงแดด

2.4 การอบแห้ง

การอบแห้ง หรือการทำแห้ง (drying หรือ dehydration) คือการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร โดยการลดปริมาณความชื้นผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาอื่นๆ เพื่อเก็บรักษานอมผลิตภัณฑ์ระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษา การลดปริมาณความชื้นยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหารอีกด้วย การทำแห้งอาหารนี้ยังเป็นการลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยในการขนส่งและการเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหาร และสะดวกต่อผู้บริโภค (รุ่งนภา, 2535) วิธีการทำแห้งที่ง่ายที่สุดคือ การตากแห้ง ซึ่งมีข้อดีคือพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก กระแสลมธรรมชาติไม่แรงพอทำให้การตากแห้งต้องใช้เวลาอันนานเปลืองพื้นที่มากและมักทำในที่

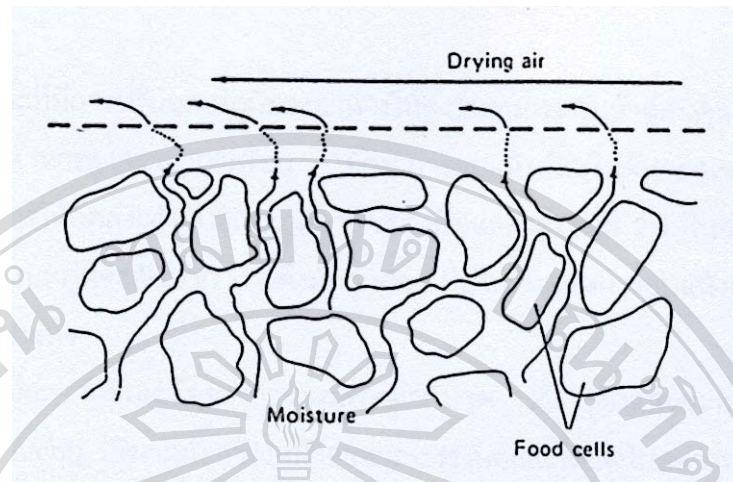
เปิดโล่ง จึงมักมีโอกาสปนเปื้อน (Potter and Hotchkiss, 1995) ดังนั้นเครื่องอบแห้งจึงได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมากเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุดิบแต่ละชนิด

การทำแห้งผักและผลไม้ เป็นการกำจัดน้ำออกจากผักและผลไม้จนกระทั่งลดลงอยู่ในระดับที่ไม่เกิดการเน่าเสีย มีผลทำให้น้ำหนักและปริมาตรลดลง อีกทั้งยังเพิ่มความสะดวกในการบรรจุ การขนส่ง และเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น เนื่องจากผักและผลไม้ที่ผ่านการอบแห้งแล้วมีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำลดลงเพียงพอที่จะป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Peter, 1997) การทำแห้งผักและผลไม้สามารถทำได้หลากหลายวิธี ในแต่ละวิธีจะมีผลต่อคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันออกไป การเลือกใช้วิธีการอบแห้งนั้นต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการอบแห้งต่อน้อยที่สุด แต่สามารถได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปริมาณตามที่ต้องการ

2.4.1 กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ (boundary film) และถูกพัดพาออกไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่อากาศแห้งจะเข้ามาแทนที่ ดังรูป 2.2 ทำให้บริเวณผิวหน้าของอาหารจะมีความดันไอของไอน้ำต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอลดลง อาหารชั้นด้านในจะมีความดันสูงและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่ไอน้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังนี้

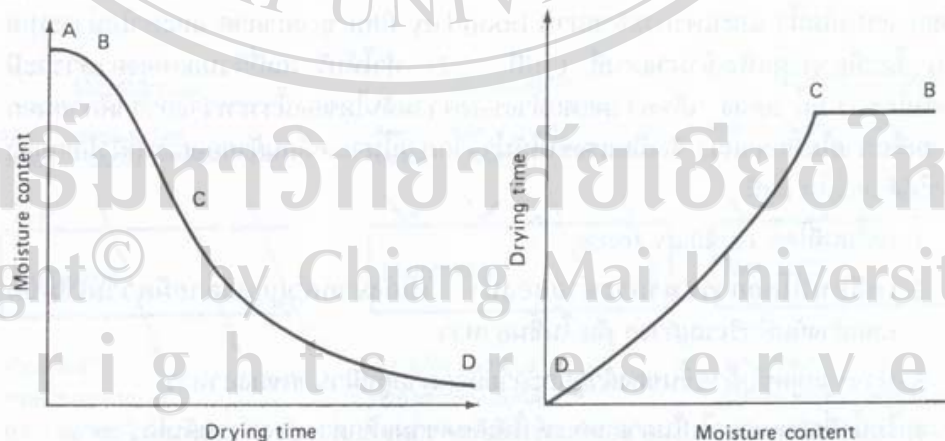
1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงคาปิลารี
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4. ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร



รูป 2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง
ที่มา : นิธิยา, 2544

2.4.2 กราฟอัตราการอบแห้ง

กราฟอัตราการอบแห้ง (drying rate curve) เป็นกราฟที่สร้างจากปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเครื่องอบแห้งที่สัมผัสกับอากาศร้อน โดยมี อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็ว และทิศทางการไหลของอากาศร้อนผ่านผิวอบแห้งคงที่ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้ง (นักสิทธิ์, 2546; รุ่งนภา, 2535; วิไล, 2546; สุกนชื่น, 2543; Fellow, 1990) ดังรูปที่ 2.3



รูป 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นในอาหาร
ที่มา : Fellow, 1990

- ช่วง A-B เริ่มต้นการอบแห้ง (setting down period)

ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศร้อน อัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการปรับอุณหภูมิของอาหารให้สูงขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ในทางตรงข้ามหากอุณหภูมิของอาหารสูงกว่าอากาศร้อน อัตราการอบแห้งเมื่อเริ่มต้นจะลดลงในขณะที่มีการปรับอุณหภูมิของอาหารให้ลดลงเท่ากับอุณหภูมิอากาศ อาหารจะมีการปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลทำให้ผิวหน้าอาหารมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ อัตราการอบแห้งไม่คงที่เนื่องจากความชื้นในอาหารค่อยๆลดลง

- ช่วง B-C อัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period)

ความชื้นบริเวณผิวหน้าอาหารอยู่ในสภาวะอิ่มตัว อุณหภูมิผิวหน้าอาหารมีค่าคงที่และใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ปริมาณความร้อนที่อาหารได้รับเท่ากับที่ใช้ไปในการระเหยความชื้นพอดี โดยความชื้นในอาหารที่มีมากกระจายขึ้นมาบนผิวหน้าของอาหารอย่างสม่ำเสมอ การเคลื่อนที่ของความชื้นในอาหารที่มีเซลล์โปร่ง มีรูพรุนมากและมีขนาดใหญ่ ความชื้นเคลื่อนที่ได้สะดวก รวดเร็ว และมากขึ้นโดยเซลล์ที่อยู่ติดกับรูพรุนเล็กได้รับความร้อนทำให้อากาศขยายตัว ความชื้นเริ่มซึมออกมาจากเซลล์ขึ้นไปตามรูพรุนทำให้ภายในเซลล์มีความเข้มข้นมากขึ้น เกิดแรงดึงดูดและมีการซึมของความชื้นผ่านเซลล์ที่อยู่ติดกันเข้าไปในเซลล์ที่อยู่ติดกับรูพรุนและระเหยออกไปทางรูพรุน ส่วนไอน้ำแพร่เข้าไปในที่ว่างอากาศและทำให้เกิดผลต่างของความดันไอ เรียกช่วงนี้ว่าอัตราการระเหยความชื้นหรืออัตราการอบแห้งคงที่ และความชื้นช่วงสุดท้ายของช่วงนี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ซึ่งอาหารแต่ละชนิดจะไม่เท่ากันขึ้นกับปริมาณอาหารในเครื่องอบแห้ง อัตราการทำแห้ง และลักษณะอากาศที่จำเป็นต่อการอบแห้งในช่วงนี้คือ ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความเร็วอากาศร้อนสูง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ถ้าความเร็วลมที่ต่ำเกินไป ไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหารและยังคงอยู่รอบๆ อาหาร ทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอและอัตราการทำแห้งต่ำ ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำหรือมีความชื้นสูงจะทำให้การทำแห้งช้าลง

- ช่วง C-D ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period)

อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าของอาหารจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าอาหารจึงแห้ง เรียกช่วงนี้ว่าอัตราการทำแห้งลดลง ช่วงนี้เป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำแห้งจนน้ำในอาหารไม่สามารถเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าได้อีก

จนถึงที่สุดกระบวนการอบแห้ง ความชื้นที่จุดสุดท้ายของกระบวนการอบแห้ง เรียกว่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) เพราะเป็นความชื้นที่อาหารดูดซับเอาไว้

2.4.3 ปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

ปริมาณความชื้นสมดุลของสาร นิยามว่า เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่เมื่อสารมีความดันไอสมดุลกับสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการอบแห้งจะเป็นปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ อัตราส่วนของความดันไอนี้จะเรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหรือวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity : a_w) และค่านี้จะสอดคล้องกับค่าปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์นั้น ขนาดและปริมาณความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างอาหารและลักษณะน้ำที่ยึดเกาะอยู่ในโครงสร้างผลิตภัณฑ์อาหาร (รุ่งนภา, 2535)

2.4.4 Water activity

การเสื่อมเสียในอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดเร็วกว่าปฏิกิริยาจากเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเคมีซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษา น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมอัตราการเสื่อมเสีย การแสดงปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง}} \times 100$$

การแสดงปริมาณความชื้นของอาหารแบบฐานเปียก (wet weight basis; w.b.) คัดจาก

$$M_{w.b.(w.b.)} = \frac{\text{มวลของน้ำ}}{\text{มวลของตัวอย่าง}} \times 100$$

$$M_{w.b.(w.b.)} = \frac{\text{มวลของน้ำ}}{\text{มวลของน้ำ} + \text{ของแข็ง}} \times 100$$

หรือคิดแบบฐานแห้ง (dry weight basis; d.b.)

$$M_{d.b.}(d.b.) = \frac{\text{มวลของน้ำ}}{\text{มวลของของแข็ง}} \times 100$$

นิยมใช้ปริมาณความชื้นแบบฐานแห้งในการคำนวณ ส่วนปริมาณความชื้นฐานเปียกใช้บอกองค์ประกอบของน้ำในอาหาร

Water activity (a_w) หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่จุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน (P_0)

$$\text{หรือ } a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\text{ความชื้นสัมพัทธ์}}{100}$$

ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นน้ำที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลทางเคมีของอาหาร (bound water) และยังเป็นอิสระ (free water) อยู่ในอาหาร ซึ่งจุลินทรีย์ เอนไซม์ หรือปฏิกิริยาทางเคมีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (วิล, 2546) และค่า a_w มีผลต่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ ค่า a_w สูงมีแนวโน้มการเสื่อมเสียโดยแบคทีเรีย เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเจริญได้ดีกว่ายีสต์และเชื้อรา ถ้าควบคุม a_w ให้ลดต่ำลง เชื้อยีสต์หรือราจะเจริญเติบโตได้ดีว่าแบคทีเรีย และค่า a_w ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการกำหนดชนิดจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี น้ำมีบทบาทในการเป็นตัวทำละลายสำหรับสารที่มีปฏิกิริยาทางเคมี (reactants) และผลิตภัณฑ์ เป็นสารที่มีปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาคอนเดนเซชันในปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ และเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยา เช่น น้ำไปยับยั้งการทำงานของคะตะลิสต์โลหะในปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันไขมัน (กฤติยา, 2546)

การจำแนกประเภทของอาหาร โดยใช้ค่า a_w เป็นเครื่องวัด สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (วิล, 2546)

1. High moisture foods (HMF) เป็นอาหารที่มีค่า a_w สูง อยู่ในช่วง 0.85-1.00 แบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้
2. Intermediate moisture foods (IMF) เป็นอาหารที่มีค่า a_w ปานกลาง อยู่ในช่วง 0.65-0.85 ยีสต์และราเจริญได้
3. Low moisture foods (LMF) เป็นอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.01-0.65 จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้

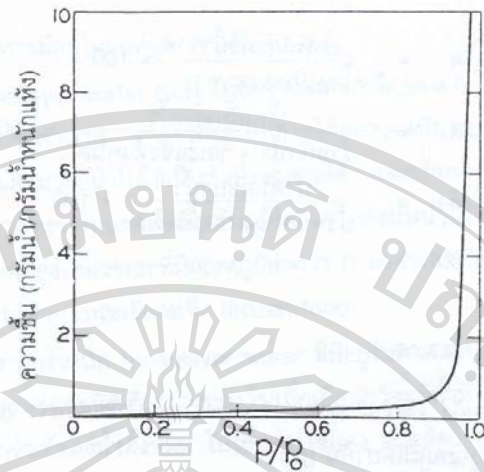
ตาราง 2.2 ความสำคัญของระดับค่าแอกติวิตี

a_w	ความสำคัญ
0.95	ยับยั้งการเจริญของ <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> และยีสต์บาง
0.90	ชนิด ชิดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั่วไป เช่น <i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Lactobacillus</i> และยีสต์และราบางชนิด
0.85	ยีสต์หลายชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้
0.80	ชิดจำกัดต่ำสุดสำหรับปฏิกิริยาของเอนไซม์ และการเจริญเติบโตของเชื้อราส่วนใหญ่ <i>Staphylococcus aureus</i> ไม่สามารถเจริญได้
0.75	ชิดจำกัดต่ำสุดสำหรับ Halophilic bacteria
0.70	ชิดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโตของ Xerophilic fungi ส่วนใหญ่
0.65	อัตราเร็วสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (maillard reaction)
0.60	ชิดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโตของ osmophilic bacteria และ xerophilic yeast และ fungi
0.55	ชิดจำกัดต่ำสุดสำหรับการดำรงชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์
0.40	อัตราเร็วต่ำสุดของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
0.25	ความต้านทานสูงสุดของแบคทีเรียที่สร้างสปอร์

ที่มา : วิไล, 2546

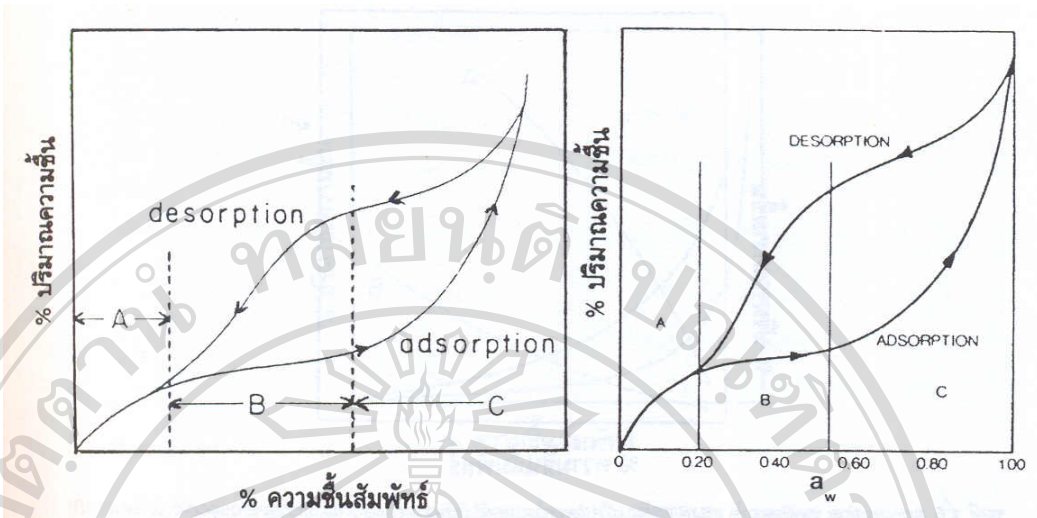
อาหารที่มีปริมาณความชื้นสูงหรือมีปริมาณมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง จะมีค่า a_w เท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารที่มีความชื้นต่ำลงหรือมีปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง ค่า a_w จะลดต่ำกว่า 1.0 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารที่มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัม น้ำหนักแห้งของอาหาร ดังรูป 2.4

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



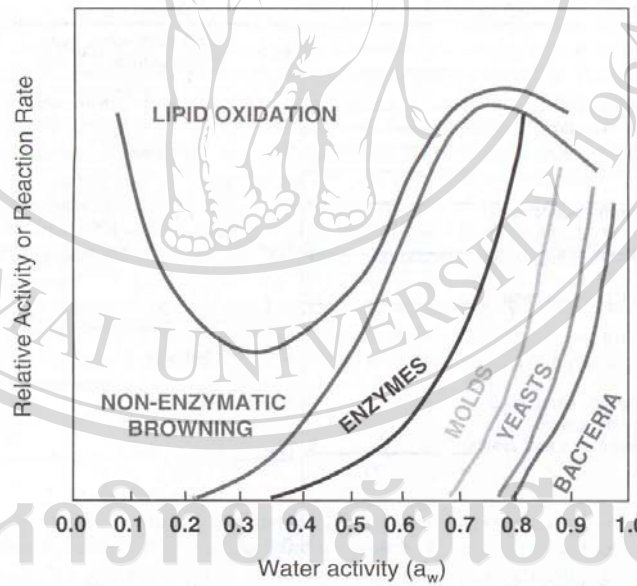
รูป 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่า a_w
ที่มา : นิธิยา, 2545

อาหารที่มีความชื้นลดลงประมาณ 50 % ของทั้งหมด จะทำให้ค่า a_w ลดลงอย่างรวดเร็ว ค่า a_w นอกจากจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย เมื่อนำค่า a_w มาเขียนกราฟกับปริมาณความชื้นในอาหาร จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรือกับค่า a_w กราฟนี้เรียกว่า sorption isotherms ซึ่งกระบวนการลดความชื้น (desorption) และกระบวนการเพิ่มความชื้น (adsorption) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ทำให้มีผลต่อค่า a_w ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน ดังรูป 2.5 (นิธิยา, 2545) ส่วนแรกของเส้นโค้งใน Zone A แสดงน้ำชั้นเดียวซึ่งมีความเสถียรมาก ไม่เยือกแข็งและไม่ถูกกำจัดโดยการทำให้แห้ง Zone B ก่อนข้างเป็นเส้นตรง คือน้ำที่ถูกดูดซับในโมเลกุลต่างๆ ภายในอาหารและสารละลายขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ Zone C เป็นน้ำอิสระซึ่งจะกลั่นตัวภายในโครงสร้างอาหาร ซึ่งน้ำอิสระในอาหารนี้จะถูกยึดด้วยแรงอ่อนๆ และถูกกำจัดได้ง่าย น้ำอิสระในส่วนนี้จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ รวมถึงปฏิกิริยาเอนไซม์ด้วย อาหารที่ปริมาณความชื้นสูงจะทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย



รูป 2.5 กราฟ sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือกับ a_w

ที่มา : นิธิยา, 2545



รูป 2.6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่แปรผันตามค่า a_w

ที่มา : Ramaswamy and Marcotte, 2006

2.4.4.1 ผลของ a_w ต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหาร

ค่า a_w มีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในอาหารมีหลายชนิด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่ออาหารส่วนมากเกิดจากปฏิกิริยาที่เอนไซม์เป็นตัวเร่ง ซึ่งปฏิกิริยานี้จะไม่เกิดขึ้นเมื่อในอาหารมีค่า a_w ในช่วง 0-0.2 รวมถึงจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และ

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic browning หรือ maillard reaction) จะไม่เกิดขึ้นเมื่อมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.25 ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาสูงสุดในช่วง 0.6-0.8 เนื่องจากความชื้นหรือปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้เอนไซม์และสปีตเคลื่อนย้ายได้ง่าย ดังนั้นการลดปริมาณน้ำให้เหลือน้อยลงที่สุด หรือการลดค่า a_w ต่ำลงทำให้อาหารมีความคงตัวสูงและเก็บรักษาได้นานขึ้น ตรงกันข้ามกับปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน เริ่มสูงขึ้นเมื่อค่า a_w อยู่ในช่วง 0.3-0.4 และจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและถึงจุดสูงสุดเมื่อค่า a_w เป็น 0.8 การเกิดออกซิเดชันจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากลิพิดไม่ละลายในน้ำ

2.4.4.2 ผลของ a_w ต่อการเน่าเสียของอาหาร

เชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ รา ใช้น้ำอิสระเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อาหารเน่าเสีย ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารลงเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีได้ จุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเติบโตเมื่ออาหารมีค่า a_w 0.6 หรือต่ำกว่า ดังตาราง 2.2

2.4.5 การอบแห้งแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryers) เป็นเครื่องอบแห้งที่มีลักษณะการให้ความร้อนแบบ adiabatic dryer คือ เตาอบแห้งที่ให้ความร้อนโดยใช้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่สัมผัสกับอาหารโดยอาหารจะอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ด้วย ดังรูป 2.7 (สุคนษีน, 2543) ซึ่งเครื่องอบแห้งนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากการทำแห้งแบบตากแดดมีข้อด้อยหลายข้อ เช่น พลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิที่ไม่สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่แรงพอ ทำให้ใช้เวลานาน ใช้พื้นที่มากและมักทำในที่เปิดโล่ง (Potter and Hotchkiss, 1995) คุณค่าทางอาหารบางอย่าง เช่น สี กลิ่น รส อาจสูญเสียไป เกิดการปนเปื้อนจากฝุ่น แมลงต่างๆ และจุลินทรีย์ (ดร.ณิ, 2532)

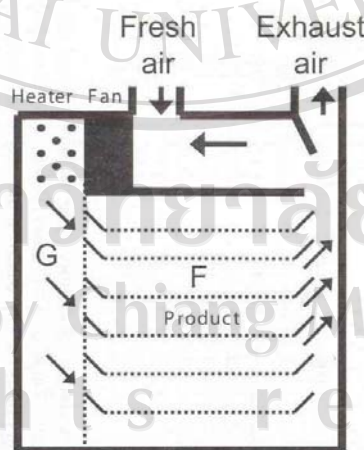
ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบถาด

1. ตู้เหล็กฉนวนทรงสูง รูปร่างสี่เหลี่ยม ภายในวางถาดได้ตั้งแต่ 5-8 ชั้น (ในระดับอุตสาหกรรมอาจใช้ตู้ใหญ่มีจำนวนชั้นมากขึ้น)
2. ถาดที่ใช้วางอาหารควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิม
3. มอเตอร์ (เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อน)
4. ขดลวดร้อนที่ให้ความร้อนสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส (อาจใช้น้ำหรือแก๊สเป็นแหล่งของความร้อนก็ได้)

5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ (ทั่วไปควบคุมอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส) หากอุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส อาหารจะแห้งเร็วเกินไป โปรตีนตกตะกอนและอาหารจะมีสีคล้ำ (สมบัติ, 2544)

เครื่องอบแห้งแบบถาด เป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่ความดันบรรยากาศ ลักษณะของเครื่องมือจะเป็นตู้บุนนวน มีถาดสำหรับใส่อาหารแต่ละถาดบรรจุขึ้นอาหารขนาดไม่เกิน 1-6 เซนติเมตร (Ramaswamy and Marcotte, 2006) โดยอากาศร้อนหมุนเวียนในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร² ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแบบฟลิป เพื่อนำความร้อนขึ้นไปด้านบน ผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องนำความร้อนเพิ่มขึ้นด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง (วิไล, 2546) ส่วนปัญหาเครื่องอบแห้งที่พบคือ ควบคุมดูแลยากจึงมีการอบแห้งที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการกระจายลมไม่ทั่วถึง มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่อยู่บริเวณทางเข้าของลมมีลักษณะแห้งกว่าด้านทางออกของลม ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มีความสม่ำเสมอ สามารถแก้ไขได้โดยสลับถาดหรือกลับทิศทางการลม

เครื่องมือนี้เสียค่าใช้จ่ายในการสร้างและบำรุงรักษาต่ำและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง จึงนิยมใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็กหรือในโรงงานขนาดเล็ก เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นการอบที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับพาความร้อนออกจากอาหารค่อนข้างสูง ดังนั้นคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เหมาะสมจึงเป็นประเภทที่ไม่ไวต่อความร้อนและเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าการตลาด (สมบัติ, 2544)



รูป 2.7 เครื่องอบแห้ง

ที่มา : Ramaswamy and Marcotte, 2006

2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งอาหาร มีดังนี้ (สุคนจีน, 2546)

1. **ธรรมชาติของอาหาร** อาหารที่มีลักษณะเนื้อโปรงมีรูพรุนมากสามารถอบแห้งได้เร็วกว่า เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าในอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะไปกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้อบแห้งได้ช้ากว่า อาหารที่ผ่านการลวกนวด คลึงเซลล์ของอาหารเกิดการแตกออกทำให้การอบแห้งเร็วขึ้น

2. **ขนาดและรูปร่าง** มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน แต่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดให้ใหญ่จึงทำให้อบแห้งได้เร็ว ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย อาหารชิ้นเล็กถ้าทับถมกันมากการระเหยน้ำจะเกิดได้เฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับอากาศทำให้อัตราการอบแห้งลดลงทั้งที่มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าก็ตาม

3. **ตำแหน่งอาหารในเครื่องอบแห้ง** อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนหรือลมร้อนที่มีความชื้นต่ำได้ดีจะระเหยน้ำออกไปได้ดีกว่า

4. **ปริมาณอาหารต่อถาด** ถ้ามีปริมาณอาหารมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้ทำให้การอบแห้งช้าลง โดยเฉพาะบริเวณกลางถาดที่ความร้อนเข้าไปไม่ถึง ความชื้นจึงระเหยออกได้ยาก

5. **ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน** อากาศที่ไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อยกว่าอากาศที่มีไอน้ำอยู่น้อย ทำให้อัตราการอบแห้งคงที่

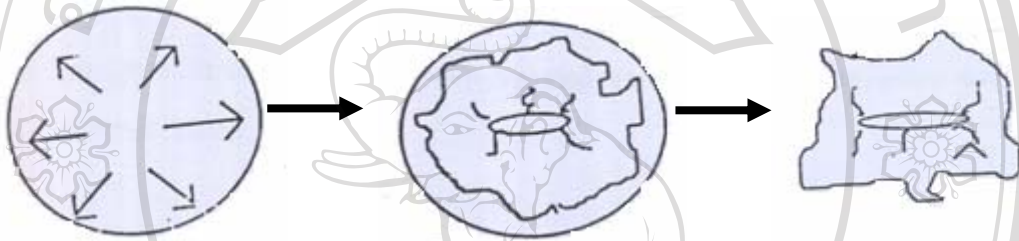
6. **อุณหภูมิของอากาศร้อน** ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ ซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่ของน้ำในอาหารดีขึ้นจึงมีผลต่ออัตราการอบแห้งลดลง ถ้าอุณหภูมิการอบแห้งลดลงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น อัตราการระเหยลดลง อัตราการอบแห้งลดลงและช้า

7. **ความเร็วของอากาศร้อน** อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายน้ำออกไป ดังนั้นเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นจะเคลื่อนย้ายไอน้ำได้เร็วขึ้น แต่ถ้าความเร็วอากาศต่ำ การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นช้า อัตราการอบแห้งลดลง

2.4.7 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยเกิดจากธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง (รัตน และ พิไลรัก, 2541; สุขนชื่น, 2543) ดังนี้

1. การหดตัว การเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารเกิดการหดตัวจากภายนอก ซึ่งการหดตัวของเซลล์อาหารนี้ไม่สามารถหดเข้าไปได้เท่ากันทุกส่วน ส่วนที่แข็งสามารถคงสภาพไว้ได้ ส่วนที่อ่อนจะเว้าเข้าไป อาหารที่หดตัวจะทำให้มีพื้นที่ผิวในการระเหยความชื้นออกจากอาหารลดลง อาหารที่มีน้ำมากจะเกิดการบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะเกิดการหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ



รูป 2.8 ลักษณะการหดตัวระหว่างการอบแห้ง ของชิ้นอาหาร
ที่มา : เข้มทอง, 2538



รูป 2.9 รูปร่างของชิ้นอาหารก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง
ที่มา : เข้มทอง, 2538

2. การเปลี่ยนสี อาหารที่ผ่านการอบแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดสีน้ำตาล อุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้นร้อยละ 10-20 มีผลต่อความเข้มของสี

3. การเกิดเปลือกแข็งที่ผิวหน้าอาหาร เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เนื่องจากน้ำระเหยออกในช่วงแรกเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน

การอบแห้ง หรือมีสารละลายน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถแก้ไขได้โดยใช้ อุณหภูมิต่ำและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวหน้าของอาหารแห้งเร็วเกินไป

4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่ การคืนสภาพโดยการใช้ไอน้ำไม่สามารถทำให้เหมือนเดิมได้ เนื่องจากอาหารที่ผ่านการอบแห้งแล้ว เซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพได้ดีกว่าเนื่องจากไม่ได้ใช้ ความร้อนที่ทำลายผนังเซลล์ของสตาร์ชและโปรตีนจึงไม่เสียสภาพ

5. การเสียคุณค่าสารอาหารและสารระเหย เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซี และ แคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินจากแสง ไลซีนจากความร้อน การใช้เวลาใน การอบแห้งนานยิ่งสูญเสียมาก ความร้อนยังทำให้โปรตีนสูญเสียไปบางส่วน รวมถึงสารระเหยใน ระหว่างการทำแห้งอาหารที่ใช้อุณหภูมิสูงทำให้สารระเหยที่ให้กลิ่นที่มีจุดเดือดต่ำระเหยออกไปทำ ให้กลิ่นลดลงหรือแตกต่างไปจากเดิม

2.5 ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร

ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 แบบ คือ ปฏิบัติการ เกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาล ที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ซึ่งปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดใน ระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา

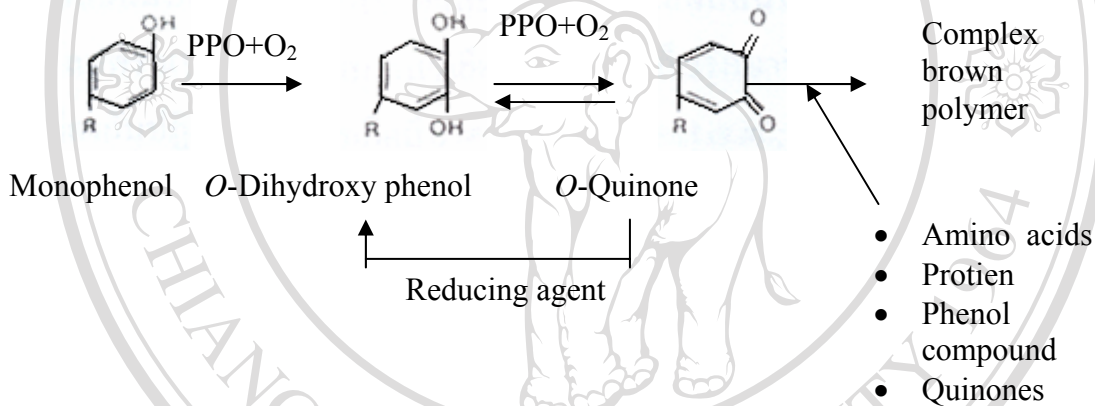
2.5.1 ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction)

เอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ อาหารระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา คือ

2.5.1.1 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase; PPO)

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase; PPO) มีชื่อเรียกตามระบบ คือ monophenol dihydroxyphenylalanine : oxygen oxidoreductase (Mayer and Harel, 1979) และอาจมีชื่อเรียกทั่วไปว่า cresolase, phenolase, catechol oxidase, monophenol oxidase, catecholase และ tyrosinase (Mayer and Harel, 1979; Whitaker, 1995) ต่อมา การตั้งชื่อของระบบเอนไซม์มีการเปลี่ยนแปลงชื่อไปจากเดิมเพื่อความจำเพาะปฏิบัติการยิ่งขึ้น เช่น monophenol monooxygenase เปลี่ยนเป็น cresolase (EC 1.14.18.1) และ diphenol

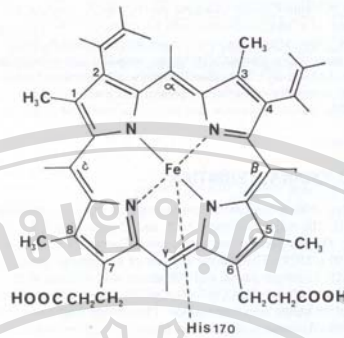
oxidase เปลี่ยนเป็น catecholase (EC 1.10.3.1) เป็นต้น (Mayer, 1987) เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีทองแดงเป็นโคแฟกเตอร์ ซึ่งเป็นไอออนของโลหะรวมอยู่ในโมเลกุลของเอนไซม์ โดยปกติเอนไซม์อยู่ในรูป deoxy form ซึ่งเมื่อเปลี่ยนรูปเป็น oxy form ดังรูป 2.5 จึงสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบ ฟีนอลิกได้ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในพืช ในสภาวะที่มีออกซิเจนในอากาศ และมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone) ควิโนนที่เกิดขึ้นจะรวมกัน และเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบ ฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาลโดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูป 2.10 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส
ที่มา : Whitaker, 1995

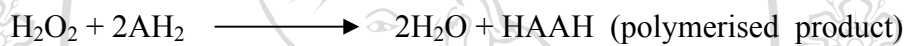
2.5.1.2 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) มีชื่อเรียกตามระบบคือ donor : hydrogen-peroxide oxidoreductase (EC 1.11.1.7) เป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductase) เป็นเอนไซม์ที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล ดังรูป 2.11 สามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลได้ในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เอนไซม์นี้ทำงานได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 5.5-7.5 และเอนไซม์นี้สามารถถูกกระตุ้นกลับมาได้อีกในระหว่างการเก็บรักษา ทนต่อความร้อนสูง (สินธนา, 2542; Whitaker, 1995; Lamikanra and Watson, 2001)

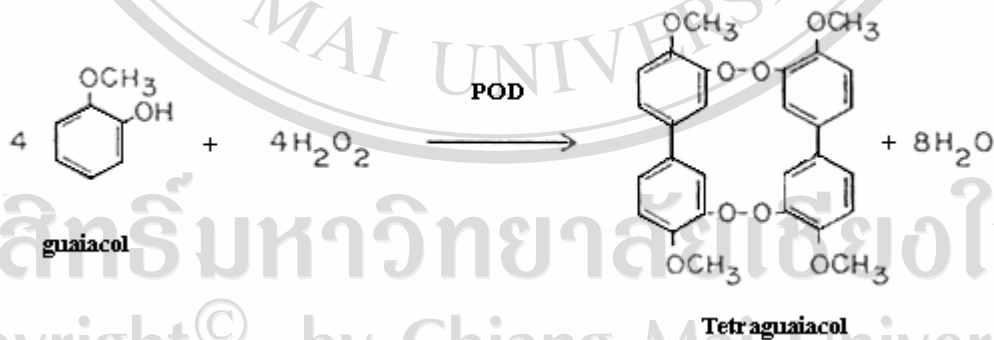


รูป 2.11 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล
ที่มา : Wong. D.W.S., 1995

ปฏิกิริยาหลักของเอนไซม์นี้คือ peroxidatic reaction



ปฏิกิริยาหลักของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสนี้เกิดขึ้นใน *in vitro* ที่มีสารเริ่มต้นเป็นสารประกอบฟีนอล (A) เช่น *p*-cresol, guaiacol, resorcinol และ aniline เป็นต้น ตัวอย่างปฏิกิริยาของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส การออกซิไดส์สาร guaiacol เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ชนิดไม่มีสี ซึ่งเป็นตัวให้ไฮโดรเจนในขณะที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อสารทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ได้ผลิตภัณฑ์คือ tetraguaiacol ซึ่งมีสีน้ำตาลแกมแดง ดังรูป 2.12



รูป 2.12 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล โดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเร่งปฏิกิริยา

ที่มา : Whitaker, 1995

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาที่สำคัญ ในการแปรรูปผักและผลไม้หลายชนิด ได้แก่ แอปเปิล ท้อ สาลี่ ถั่วฝักยาว องุ่น มันฝรั่ง เห็ด มะเขือเทศ ผักสลัด ใบชา และเมล็ดกาแฟ รวมทั้งอาหารทะเลบางชนิด เช่น กุ้ง ปู และกุ้งมังกร ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาสำคัญ ในการแปรรูปผักและผลไม้ เมื่ออาหารเกิดสีน้ำตาลจะทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง และปฏิกิริยานี้ยังทำให้เกิดปัญหากับผัก ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งและแช่เยือกแข็งอีกด้วย (นิธิยา, 2544)

2.5.1.3 การควบคุมและยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในอาหาร

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในอาหารทำให้อาหารมีสีเปลี่ยนไป และยังทำให้รสชาติของอาหารบางชนิดเปลี่ยนไปด้วย อาหารจึงมีคุณภาพลดลงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ทำได้หลายวิธี ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร (นิธิยา, 2545) เช่น

1. ใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เช่น การลวกผักและผลไม้ ซึ่งวิธีนี้ไม่นิยมนำมาบริโภคสดเนื่องจากจะทำให้เนื้อเยื่อผักและผลไม้เน่ามด วิธีนี้เหมาะสำหรับผักผลไม้ที่ต้องการแปรรูป เช่น การให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีจะทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลหมด (จินตนา, 2534) และการให้ความร้อนกับเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ 50 % (Aroga, 2000)

2. ใช้สารเคมียับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

3. เติมสารรีดิวซ์ซึ่งเอเจนต์ (reducing agents) ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการใช้ไฮโดรเจนจึงช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากสารประกอบฟีนอลิกและช่วยลดการเกิดสารควิโนนทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลลงได้ เช่น กรดแอสคอร์บิกจะไปทำปฏิกิริยากับออร์โทควิโนนให้เปลี่ยนกลับไปเป็นออร์โท-ไดฟีโนล (Garcia and Barrett, 2002)

4. กำจัดออกซิเจน เพราะการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาการใช้เอนไซม์เกิดขึ้นได้เมื่อมีออกซิเจน เช่นการบรรจุผักกาดหั่นขึ้นแบบปิดแปลงบรรยากาศเพื่อสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ (ประสาน, 2538) และยังสามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้

5. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัปสเตรตที่มีอยู่ในธรรมชาติ

การยับยั้งเอนไซม์ที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอาจใช้หลายวิธีร่วมกันก็ได้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารเคมีที่ยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ดีที่สุดและเป็นการยับยั้งแบบถาวร

นิยมใช้กับผลไม้อบแห้ง เช่น ลูกเกด แต่มีข้อเสีย คือ ทำให้เกิดกลิ่น ถ้าใช้มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพและทำให้ผู้บริโภคบางคนเกิดอาการแพ้ได้ในคนที่เป็นโรคหอบหืด (ประสาน, 2538) จึงได้มีการจำกัดการใช้ซัลไฟต์ในอาหาร ความเข้มข้นที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์มีค่าเท่ากับ 5 ppm (Lecos, 1986) หากมีการใช้ในปริมาณมากกว่า 10 ppm ขึ้นไปต้องมีการปิดฉลาก

2.5.2 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction)

ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์หรือปฏิกริยามลลาร์ด (maillard reaction) การเกิดสีน้ำตาลของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid browning) และการเกิดคาราเมลไลเซชัน (caramelization) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน มีการสูญเสียน้ำ (dehydration) มีการสลายตัว (degradation) และมีการรวมตัวกัน (condensation) พัฒนาเป็นสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง สำหรับอาหารบางชนิดเมื่อเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลทำให้มีกลิ่น สี และรสชาติดีขึ้น ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์นี้แบ่งออกได้ 2 แบบ คือ การเกิดคาราเมลไลเซชัน (caramelization) และการเกิดปฏิกริยามลลาร์ด (maillard reaction)

2.5.2.1 คาราเมลไลเซชัน (caramelization)

คาราเมลไลเซชัน เป็นการใช้ความร้อนในการสลายโมเลกุลให้แยกออก และเกิดพอลิเมอร์ไลเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสีน้ำตาล ปฏิกริยานี้สารเริ่มต้นเป็นน้ำตาลเท่านั้น เช่น การเผาซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดใหม่จะมีพันธะคู่และเป็นวงแหวน (anhydro ring) มีความขุ่นหนืดและมีสีเข้มผันแปรตามเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้

น้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนสูงจะสูญเสียน้ำประมาณ 5.5 % โดยไม่เกิดการสลายตัวและได้สารประกอบใหม่ คือ ไอโซแซคโครแซน (isosaccharosan; $C_{12}H_{20}O_{10}$) เมื่อสารนี้ได้รับความร้อนนานขึ้นจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 9 % ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลอีก 2 โมเลกุล และเกิดการรวมตัวของน้ำตาล 2 โมเลกุล เป็นดีไฮโดรซูการ์ (dehydrosugar) สารที่เกิดขึ้นใหม่ เรียกว่า คาราเมลแลน (caramelan; $C_{24}H_{36}O_{18}$) สารนี้ละลายได้ในน้ำและโคอะไลซ์ได้ เมื่อได้รับความร้อนนานขึ้นอีกจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 13.6 % และได้เป็นสารใหม่ เรียกว่า คาราเมลเลน (caramelen; $C_{36}H_{50}O_{25}$) ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของน้ำตาลซูโครส 3 โมเลกุล และสูญเสียน้ำออกไป 8 โมเลกุล หากใช้ความร้อนต่อไปจะเกิดเป็นฮิวมิน (humins) ซึ่งเป็นสารสีดำซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่แพร่กระจาย เรียกว่า คาราเมลลิน (caramelin) สาร

สีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียว จะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (caramel)

การเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำ จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูง หรือสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ จะเริ่มการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดสารประกอบประเภท น้ำตาลแอนไฮไดรด์ (sugar anhydrides)

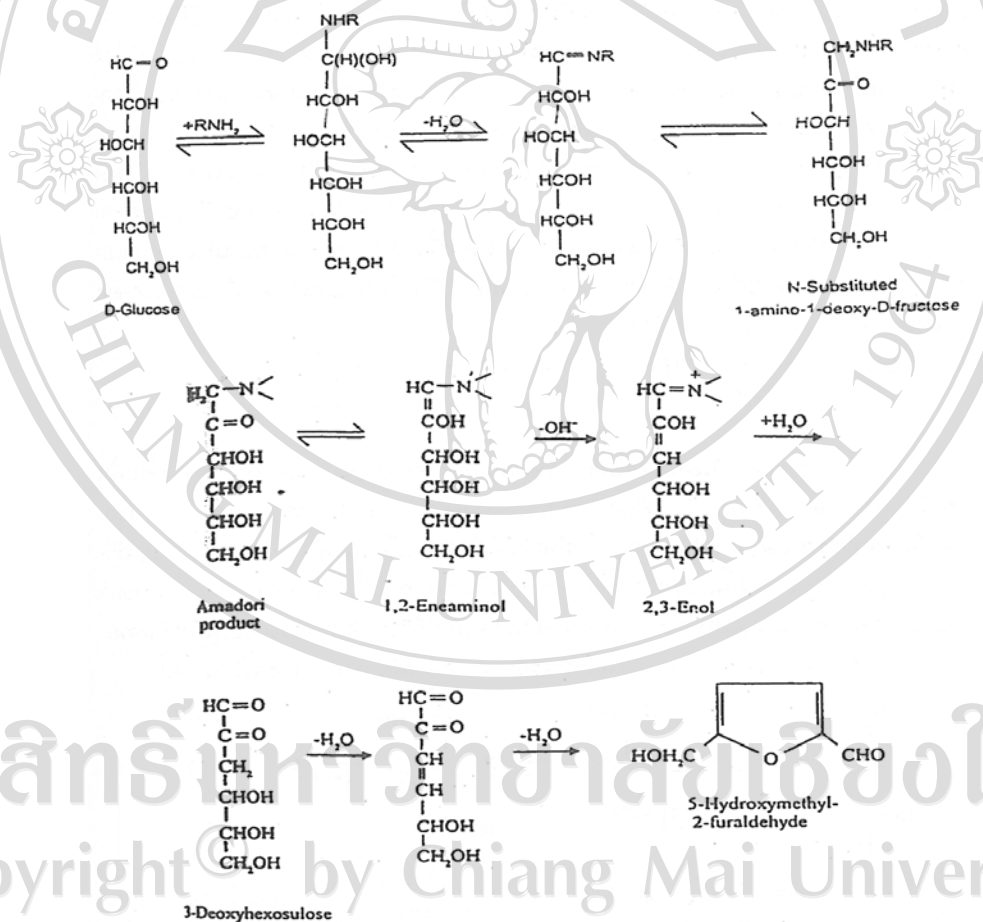
2.5.2.2 ปฏิกิริยามอลาร์ด (maillard reaction)

น้ำตาลแอลโดสหรือคีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิง เมื่อได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำ ($a_w > 0.2$) กับเอมีนทำให้เกิดสารประกอบต่าง ๆ ทำให้มีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหาร ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้น ขณะทอด อบ บั๊ง ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโนและโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยามอลาร์ด (maillard reaction)

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยามอลาร์ด (รูป 2.13) มีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาคีไฮเดรชันได้เป็น imines หรือ schiff base และมีการเรียงตัวใหม่เรียกว่า amadori rearrangement ได้เป็น aldoseamine หรือ ketoseamine เรียกว่า amadori product เช่น 1-amino-1-deoxy-ketose ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 หรือต่ำกว่า
3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ amadori products ได้เป็น diketoseamine หรือ diaminosugar เช่น 3-deoxyhexosulose
4. เกิดปฏิกิริยาคีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF
5. อนุพันธ์วงแหวนฟูแรน เช่น HMF จะเกิด polymerization อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมลไลเซชันมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยามิลลาร์ดมีทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำ และพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ กรดอะมิโน โปรตีน และสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ อยู่รวมกัน และได้รับความร้อน เช่น การเกิดสีน้ำตาลของขนมอบ ปฏิกิริยานี้ยังมีความสำคัญต่อการทำคาราเมล ทอฟฟี่ และช็อกโกแลตนม ปฏิกิริยามิลลาร์ดมีข้อเสีย คือทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลโปรตีนลดน้อยลงทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลง สำหรับอาหารที่มีโปรตีนสูงเมื่อได้รับความร้อนสูง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 2.13 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยามิลลาร์ด
ที่มา : นิธิยา, 2545

2.5.2.2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยา

1. ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิลในอาหาร

สารประกอบคาร์บอนิลที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่าย จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้อง อาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์สูงจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้อย่างรวดเร็ว ถ้าโครงสร้างคาร์บอนิลในอาหารเป็นน้ำตาลชั้นเดียวที่มีกลุ่มอัลดีไฮด์อิสระจะเกิดสีน้ำตาลเร็วกว่าน้ำตาลชนิดอื่น โดยเฉพาะน้ำตาลเพนโตส (เช่นไซโลสหรือไรโบส) จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซส (เช่น ฟรุกโตสหรือกลูโคส) ในกลุ่มเฮกโซสเองถ้ามีโครงสร้างเป็นอัลโดส (aldose) จะเกิดสีน้ำตาลเร็วกว่าคีโตส (ketose) และน้ำตาลเฮกโซสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นไดแซคคาไรด์ สำหรับน้ำตาลนอนรีดิวซ์ เช่นซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาได้ภายหลังถูกไฮโดรไลสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์แล้ว สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์แต่ละชนิดน้ำตาลฟรุกโตสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ส่วนน้ำตาลแอลโด-เฮกโซสมีการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ดังนี้ น้ำตาลแมนโนส > กาแลคโตส > กลูโคส

2. ชนิดของสารประกอบกรดอะมิโนในอาหาร

กรดอะมิโนที่ละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เร็วกว่ากรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำ กรดอะมิโนชนิดแอลฟา (α -amino acid) ไกลซีนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดอะมิโนชนิดโอเมกา (ω -amino acid) จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นเมื่อความยาวในสายโมเลกุลเพิ่มขึ้น กรดอะมิโนชนิดไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด ส่วนกรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีน และกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์ของเอไมด์ เช่น แอสปาราจีน และกลูตามีน จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นกลาง

3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง หากค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5-6 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะช้าลง (ไพโรจน์, 2539) และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 8-10 (จินตนา, 2534) ตัวอย่างเช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 น้ำตาลจะมีความคงตัวมากที่สุดในรูป pyranose hemiacetal ring เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น น้ำตาลจะเปลี่ยนรูปเป็น reactive acyclic aldehyde ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างน้ำตาลกับเอมีนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการชะลอการสูญเสียกรดอะมิโนซึ่งมีสมบัติเป็นด่างในปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาดังกล่าวได้

4. อุณหภูมิ

อัตราเร็วของปฏิกิริยามอลดาร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 3-4 เท่าจากเดิม ดังนั้นสภาวะที่มีสารเข้มข้นสูงและมีอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalytic ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรุกโตสจะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส และเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ความเข้มข้นของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยามอลดาร์ให้เกิดช้าลงได้ แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่า a_w ด้วย

5. น้ำ หรือ a_w

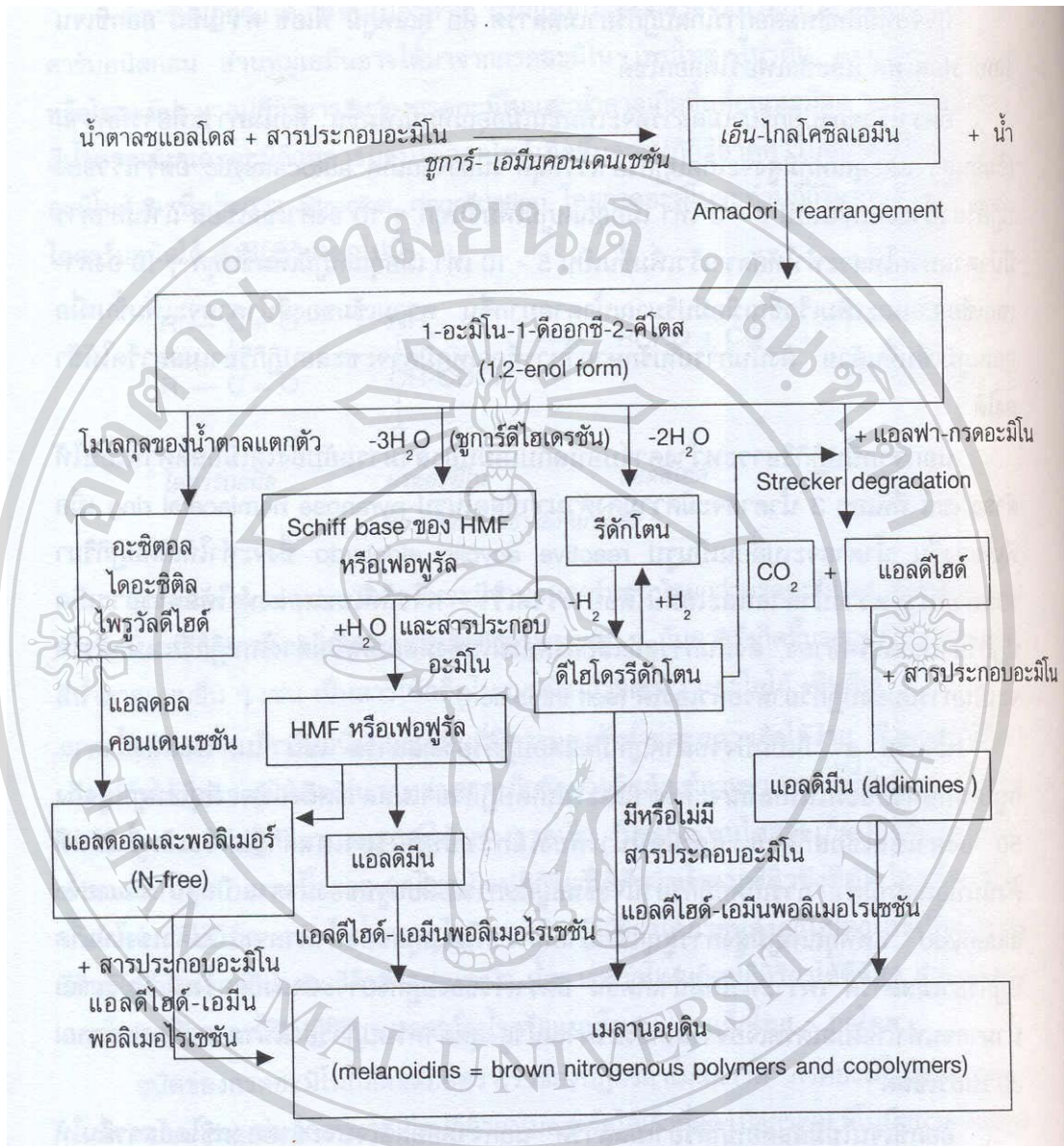
อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า a_w ในสภาวะแห้งน้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนกลัยซีนจะคงตัวและไม่เกิดปฏิกิริยามอลดาร์แม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส แต่เมื่อน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันที ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำ การเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงรูปของน้ำตาลเป็นรูป reactive aldehyde แต่ที่อุณหภูมิสูงการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยามอลดาร์ เพราะทำให้มีน้ำเกิดขึ้น ปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมีปริมาณน้ำมากขึ้นจนทำให้สับสเตรตเจือจาง (Macrae *et al.*, 1993) ซึ่งปริมาณความชื้น 10-20 % จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว (สุคนชัญ, 2539) แต่ถ้าปริมาณความชื้นต่ำหรือสูงกว่านี้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะลดลง (ณรงค์ และ อัญชนีย์, 2528 ; Heath, 1981) ปริมาณความชื้น 30 % จะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากที่สุด

2.5.2.2.2 การควบคุมปฏิกิริยามอลดาร์

ปฏิกิริยามอลดาร์สามารถยับยั้งได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ (นิธิยา, 2545 ; ไพโรจน์, 2539) ดังนี้

1. การควบคุมปฏิกิริยามอลดาร์ได้ดีที่สุด คือ การกำจัดสารที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาน้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าน้ำตาลชนิดอื่น สามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยออกซิไดส์ให้เป็นกรดกลูโคนิก ด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส
2. การล้างเป็นวิธีการง่าย ๆ ที่ช่วยลดปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนออกไปจากผิววนอกได้ เพราะสารเหล่านี้ละลายได้ดีในน้ำ สำหรับอาหารบางชนิดเช่น มันฝรั่ง การเก็บรักษาระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นสตาร์ช จะช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้ลดลงระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้

3. ภาวะที่ใช้ในการแปรรูปอาหาร ควรใช้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยามอลดาร์ด์น้อยที่สุด
4. ควบคุมปริมาณน้ำในอาหารให้ลดน้อยลง หรือเพิ่มปริมาณน้ำในอาหารให้มากขึ้นจนทำให้สับสเตรตเหี่ยวจากลง
5. การลดความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ ช่วยป้องกันการเกิดเมลลาร์ดได้ และอาจเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ของอาหารให้สูงขึ้นภายหลังได้
6. ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือ ซัลไฟด์ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับ degradation product ของอะมิโนซูการ์ ป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นเมลานอยดิน และยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย
7. การใช้สารเคมีช่วยยับยั้งการทำหน้าที่ของหมู่คาร์บอนิลอิสระ หรือสารประกอบคาร์บอนิลอื่น ๆ เช่น ใช้สารประกอบซัลไฟด์ คือ โซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวกันของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลและเอมีน โดยหมู่ซัลไฟด์จะไปรวมตัวกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลแอลโดส และทำให้เกิดสารประกอบซัลโฟเนตในขั้นตอนหลัง ๆ ของปฏิกิริยา
8. หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งทำได้โดยใช้สารต้านออกซิเดชัน สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง อาจใช้กรดแอสคอร์บิกได้ แต่การใช้กรดแอสคอร์บิกในปริมาณสูง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยามอลดาร์ด์ได้เร็วขึ้นเนื่องจากเกิด oxidative degradation ของกรดแอสคอร์บิก และทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิล ผ่านเข้าทางแอลคอลลอนเดนเซชัน หรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาลได้
9. ใช้อุณหภูมิต่ำในการผลิตและการเก็บรักษา เพราะอุณหภูมิต่ำจะทำให้การรวมตัวของ reducing sugar กับ กรดอะมิโน เป็นไปได้ช้า
10. การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นประเภทอื่น เช่น ซูโครส ฟรุคโตส แทน reducing sugar ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพราะฟรุคโตสจะไม่รวมตัวกับกรดอะมิโนทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลดลง



รูป 2.14 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาโดยไม้อาศัยเอนไซม์

ที่มา : นิธิยา, 2545

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.6 วัตถุเจือปนในอาหาร

วัตถุเจือปนในอาหาร มีความหมายตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 281 (2547) ว่า วัตถุที่ตามปกติไม่ได้ใช้เป็นอาหารหรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าจะวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีการผลิต การแต่งสีอาหาร การปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐานหรือลักษณะของอาหาร ทั้งนี้ให้หมายความรวมถึงวัตถุที่ไม่ได้เจือปนในอาหาร แต่

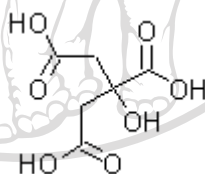
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มีภาชนะบรรจุไว้เฉพาะแล้วใส่รวมอยู่กับอาหารเพื่อเป็นประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย เช่น วัตถุกันชื้น วัตถุคอกออกซิเจน เป็นต้น

วัตถุเจือปนอาหารที่นำมาใช้เพื่อ รักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร เพื่อเป็นการให้ ส่วนประกอบที่จำเป็นให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ให้อาหารมีคุณภาพคงที่ ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพในด้าน สี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และยังช่วยใน กระบวนการแปรรูปด้วย

2.6.1 กรดซิตริก

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ประเภท tricarboxylic ที่พบมากตามธรรมชาติในพืชและสัตว์ ในมนุษย์จะมีการสร้างกรดซิตริก ในระหว่างการเมตาโบไลต์คาร์โบไฮเดรตและไขมัน ส่วนในพืช จะพบกรดซิตริกมาก กรดซิตริกมีส่วนคล้ายกรด malic คือพบมากในธรรมชาติ กรดซิตริกมี คุณสมบัติที่ดีคือ ละลายได้ดีในน้ำ กลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นสารจับโลหะ (chelating agent) ที่มีประสิทธิภาพสูง กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริกนี้ที่นิยมใช้ในอาหารนี้ ยังไปช่วยในการปรับปรุงกลิ่นรสและความเป็นกรด-ด่างให้พอเหมาะ เป็นวัตถุกันเสีย และจะช่วย ทำปฏิกิริยากับโลหะที่อาจปนเปื้อนมาในวัตถุดิบเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น ช่วยยืดอายุการ เก็บรักษาผลิตภัณฑ์



รูป 2.15 สูตรโครงสร้างกรดซิตริก

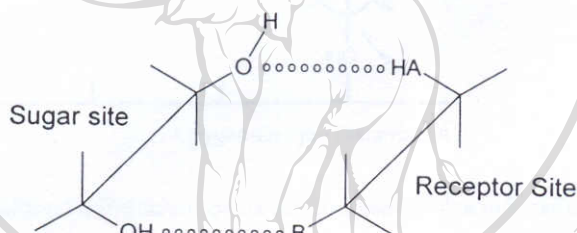
2.6.2 แคลเซียมคลอไรด์

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้หลังการตัด แต่งได้ โดยช่วยให้เนื้อเยื่อของผลไม้มีความแข็งแรงและทนต่อการย่อยของเอนไซม์ที่หลั่งออกมา จากเนื้อเยื่อที่เสียหายจากการตัดแต่ง การแช่สารละลายแคลเซียมเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงความ กรอบของเนื้อผลไม้หลังการตัดแต่ง โดย แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) สามารถทำปฏิกิริยากับ สารประกอบเพคตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท ซึ่งไม่ละลายน้ำโดยถ้าใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความ เข้มข้นมาก ความกรอบก็เพิ่มมากและเวลาที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1-2 นาที อาจมีการเพิ่มอุณหภูมิ ของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ให้สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยให้แคลเซียมสามารถแพร่ ผ่านเข้าสู่ภายในเนื้อเยื่อของผลไม้ได้มากขึ้น โดยอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกิน 60 องศาเซลเซียส

เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เนื้อเชื้อผลไม้เกิดความเสีย เนื่องจากความร้อนทำให้สูญเสียความกรอบและลักษณะปรากฏที่สวยงามไป ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.1-1 % หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สูงเกินไป อาจทำให้เกิดคราบในเนื้อผลไม้ได้ นอกจากนี้อุณหภูมิของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้เขี่ยยังมีผลช่วยปริมาณสัตว์רבกวนและ จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับเปลือกของผลไม้สดด้วย ปริมาณการใช้แคลเซียมคลอไรด์ตามกฎหมายกำหนดสำหรับผลไม้ดองหรือแช่อิ่ม ไม่เกิน 250 ppm

2.7 สารให้ความหวาน

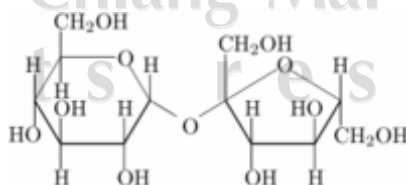
การที่เรารับรู้รสหวานได้ก็ต่อเมื่อพันธะไฮโดรเจน (H) นั้นเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลหรือสารให้ความหวานกับหน่วยรับรสดังรูป 2.16 ซึ่งจะมีลักษณะสวนทางกัน (antiparallel) (กล้าณรงค์, 2542)



รูป 2.16 พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลหรือสารให้ความหวานกับหน่วยรับรส
ที่มา : กล้าณรงค์, 2542

2.7.1. น้ำตาล

น้ำตาลทราย หรือซูโครส (sucrose) มีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{22}O_{11}$ เป็นน้ำตาลที่ได้รับความนิยมสูงสุด ในประเทศเขตร้อน ผลิตมาจากอ้อย ส่วนแถบอากาศเย็นจะผลิตจากหัวบีท กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ต้องผ่านขั้นตอนแยกส่วนประกอบต่างๆ ออกให้หมด แล้วผ่านการทำให้บริสุทธิ์ เพื่อให้ขาว เพราะมีมาตรฐานความหวานเดียวกัน และไม่มีการบดกวนอาหารที่ใช้ปรุง



รูป 2.17 โครงสร้างน้ำตาล

- ประโยชน์ของน้ำตาล

รสหวานของน้ำตาล ทำให้ผู้คนติดใจไปตามๆ กัน เพราะลิ้นของคนเรามีต่อมรับรสหวานมากกว่าต่อมรับรสอื่นๆ จึงไวต่อความรู้สึกในรสหวาน มากกว่ารสอื่นๆ จากการศึกษาที่มหาวิทยาลัยบัลติมอร์ พบว่า ผู้บริโภคอาหารยอมรับรสชาติของอาหาร ที่ไม่มีรสชาติตามที่ควรจะเป็นได้ เช่น ไม่เค็ม ไม่เปรี้ยว ไม่เผ็ด แต่หากเป็นอาหารที่ควรจะมีรสหวาน แล้วไม่หวาน จะมีการเรียกร้องขอน้ำตาลเติมทันที

น้ำตาลโดยเฉพาะน้ำตาลทราย ทำให้เกิดโรคฟันผุ การกินน้ำตาลมากเกินไปที่ร่างกายต้องการ ร่างกายจะเปลี่ยนน้ำตาลส่วนที่เกิน เปลี่ยนไขมันสะสมไว้ ทำให้เป็นโรคอ้วน และเสี่ยงต่อการเป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ได้แก่ โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด

การใช้ในการถนอมอาหารนั้น ปัจจุบันยังคงใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะกับผลไม้ และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่น ๆ ที่ทำให้ได้มาซึ่งขนมไทย ๆ รสชาติหวาน ๆ มัน ๆ การใช้น้ำตาลฉาบหรือเคลือบ เป็นวิธีถนอมอาหารที่ทำให้อาหารคงทน และเก็บไว้ได้นานวิธีหนึ่ง เพียงต้มน้ำตาลให้จับตัวกันชั้นสกัดแล้วนำอาหารที่ต้องการถนอมไว้ด้วยวิธีการฉาบ ลงไป จะได้อาหารหรือขนมรสชาติเยี่ยมเก็บไว้กินนาน ๆ ขนมที่ผ่านการถนอมอาหารด้วยวิธีนี้ได้แก่ กล้วยฉาบ มันฉาบ เผือกฉาบ ครอบแครง รังนก ฯลฯ

2.7.2 Maltodextrin

มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้ง ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ทั้งที่เป็นสายตรงและแขนง มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีขนาดของโมเลกุลในช่วงที่เป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule)

มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นกลุ่มของโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ (monomer) ของ α -D-glucopyranoside ต่อกันด้วยพันธะ (1-4) และ (1-6) และยังมีพันธะ (1-3) จำนวนเล็กน้อย โครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตรินนอกจากพบในลักษณะเป็นสายยาวแล้ว ยังพบในรูปของไซโคลเด็กซ์ตริน (cyclodextrin) ซึ่งเป็นชื่อทั่วไปของมอลโตเด็กซ์ตรินชนิดที่มีโครงสร้างเป็นวง (cyclic formation) ได้แก่ แอลฟา เบตาและแกมมา ไซโคลเด็กซ์ตริน (α -, β -, γ -cyclodextrin) มีชื่อเฉพาะคือ ไซโคลเฮกซะเดกซ์ตริน (cyclohexadextrin) ไซโคลเซปตะเดกซ์ตริน (cycloheptadextrin) และไซโคลออกตะอะไมโลส (cyclooctaamylose) ตามลำดับ เด็กซ์ตรินมีความจำเพาะเมื่อเทียบกับ โอลิโกแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ตรง เมื่อนำหนักโมเลกุลเท่ากัน

มอลโตเด็กซ์ทริน บางครั้งเรียกว่า starchgum หรือ starch syrup มีองค์ประกอบคล้ายกลูโคสไซรัปมาก แต่ไม่จัดว่าเป็นกลูโคสไซรัป เนื่องจากแข็งเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพียงเล็กน้อย (มีค่า dextrose equivalent น้อยกว่า) ส่วนมากอยู่ในรูปแบบแห้ง (dry form) ที่มีลักษณะสีขาว ลักษณะคล้ายแป้ง มีความชื้นประมาณ 6% ละลายน้ำได้ดี (สุวรรณ, 2543; Schenck and Hebeda, 1992) มีรสจางมากจนเกือบไม่มีรส (bland) มีความหวานน้อยมาก หรือไม่มีความหวานเลย เมื่อละลายน้ำอาจได้ลักษณะของสารละลายที่ใสหรือขุ่น (cloudy) ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ มอลโตเด็กซ์ทรินสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นอาหารเหลว รวมทั้ง นม น้ำผลไม้ ซุปและผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำชนิดอื่น

- ประโยชน์ของมอลโตเด็กซ์ทริน

มอลโตเด็กซ์ทรินมีประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น

- ประโยชน์ทางชีวเคมี เช่น นำมาใช้เป็นสารตัวอย่างสำหรับการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเคมีของคาร์โบไฮเดรตและเกี่ยวกับเอนไซม์ โดยการหารูปแบบของการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ย่อยแป้ง

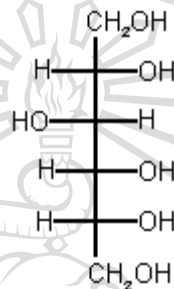
- ทางคลินิกหรือการวิเคราะห์โรค โดยการนำโพลีเมอร์ของมอลโตไตรโอสมาทำเป็นสารกระตุ้นการเกาะติด (agglutination promoting agent) ในการวิเคราะห์ทางระบบภูมิคุ้มกัน (immuno assay) ทำให้การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีความไวเพิ่มมากขึ้น

- ทางเภสัชกรรม ได้มีการนำมอลโตเด็กซ์ทรินที่มีโครงสร้างเป็นวง (maltosyl- β -cyclodextrin) มาช่วยในการเก็บรักษา tumor necrosis factor (TNF) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการรักษาเนื้องอก (tumor) โดยทำให้เนื้องอกตาย เนื่องจากไม่มีเลือดไปเลี้ยง

- ทางอุตสาหกรรมอาหาร มีการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆมากขึ้น เช่นในการรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ใช้เพิ่มเนื้อสัมผัส (body effect) ให้อาหาร เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินมีแซคคาไรด์ขนาดโมเลกุลใหญ่อยู่มาก ยังสามารถใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารควบคุมความหวานได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้ต้องการในผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ต้องการความหวานมาก แต่ต้องการเนื้อสารมาก นอกจากนี้ในอาหารที่มีการใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่มาก มอลโตเด็กซ์ทรินจะช่วยป้องกันการรวมตัวกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ไม่ให้เกิดการตกผลึก (จิราพร, 2538)

2.7.3 Sorbitol

ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมสารละลายซอร์บิทอล ซอร์บิทอล (sorbitol) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ดี-กลูซิทอล (D-glucitol) หมายถึง สารอินทรีย์จำพวกเฮกซะไฮดริกแอลกอฮอล์ (hexahydric alcohol) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เฮกซิทอล (hexitol) มีสูตรเคมี $C_6H_8(OH)_6$ มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูป 2.18 โครงสร้างซอร์บิทอล

ซอร์บิทอล จัดเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ หรือ โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) หรือ โพลีออล (polyol) เป็นสารให้ความหวานที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีอยู่ในอาหารและพืชบางชนิด น้ำตาลชนิดนี้ให้แคลอรีต่ำกว่าน้ำตาลปกติ (ประมาณ 1.6 – 2.6 กิโลแคลอรีต่อกรัม)และไม่เกิดการเพิ่มน้ำตาลในเลือดอย่างฉับพลัน ทั้งนี้เพราะน้ำตาลแอลกอฮอล์สามารถเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสได้ช้า

น้ำตาลแอลกอฮอล์ได้แก่ แมนนิทอล ไซลิทอล ซอร์บิทอล แลคซิทอล ไอโซมอลท์ และ HSH (hydrogenated starch hydrolysates) แม้ น้ำตาลแอลกอฮอล์จะไม่ได้ใช้ในครัวเรือนทั่วไป แต่ก็มีการใช้ในอาหารบางชนิดที่ระบุในฉลากว่า ปราศจากน้ำตาล หรือ sugar free ในลูกกวาด คุกกี้ หมากฝรั่ง เครื่องดื่ม ยามอม ใช้มากในผลิตภัณฑ์ในช่องปาก เช่น ยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปาก

2.7.3.1 แหล่งที่พบตามธรรมชาติและการผลิต

ซอร์บิทอลพบในธรรมชาติเพียงเล็กน้อยทั้งในสัตว์และพืช รวมทั้งผลไม้พวกแอปเปิล พีช สาลี่ และพลัม ในขณะที่พืชที่ขึ้นตามแถบภูเขาไฟมีปริมาณซอร์บิทอลอยู่ประมาณ 12-13 %

การผลิตซอร์บิทอลในอุตสาหกรรม โดยการเติมก๊าซไฮโดรเจนเพื่อเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นซอร์บิทอล นิยมใช้แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) เป็นวัตถุดิบเพื่อให้เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ย่อยแป้งและเปลี่ยนเป็นกลูโคส สำหรับซอร์บิทอลที่ผลิตในปัจจุบันมีเปอร์เซ็นต์ของซอร์บิทอลเท่ากับ 64 %

2.7.3.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี

ซอร์บิทอลมีความหวานประมาณ 60 % ของน้ำตาลซูโครส ซอร์บิทอลในรูปผลึกเมื่อบริโภครู้สึกเย็นลิ้น เนื่องจากมีค่าความร้อนของการละลายเป็นลบ (-110 กิโลจูล/กรัม) ซอร์บิทอลละลายง่าย ได้ของเหลวใส ไม่มีสี มีความหนืดน้อยกว่าสารละลายน้ำตาลเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน ซอร์บิทอลยังมีคุณสมบัติดูดซับความชื้นได้ดี จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำในอาหาร ทำให้อาหารไม่แห้ง นอกจากนี้ซอร์บิทอลยังไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (maillard reaction) ดังนั้นซอร์บิทอลจึงเหมาะสมที่จะใช้ร่วมกับสารชนิดอื่นเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.7.3.3 เมตาบอลิซึม

ซอร์บิทอลเป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน 4.1 กิโลจูล/กรัม เท่ากับพลังงานจากน้ำตาล เมื่อบริโภคน้ำตาลทั่วไปจะเกิดการเผาผลาญและดูดซึมกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น ในขณะเดียวกันฮอร์โมนอินซูลิน (insulin) จะถูกหลั่งออกมาเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดให้คงที่ สำหรับซอร์บิทอลจะดูดซึมช้าๆ ผ่านลำไส้และถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในตับให้เป็นฟรุคโตส แม้จะดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดก็ไม่มีผลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น จึงไม่มีการหลั่งอินซูลิน หรือกล่าวได้ว่า ซอร์บิทอลมีผลยับยั้งการหลั่งอินซูลิน การบริโภคนมหวานทำให้อ้วนได้ง่าย เนื่องจากพลังงานส่วนเกินของร่างกายจะเก็บสะสมในรูปไขมัน โดยไขมันในเลือดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก้อนไขมันสะสมตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย จึงทำให้ lipoprotein lipase หลั่งออกมามากกว่าอินซูลิน ซอร์บิทอลมีคุณสมบัติในการยับยั้งการหลั่งอินซูลิน จึงมีผลทำให้ยับยั้งการทำงานของ lipoprotein lipase ทำให้ลดการสะสมไขมันส่วนเกิน ดังนั้นการซอร์บิทอลในผลิตภัณฑ์ต่างๆ สามารถช่วยลดความอ้วนได้ เนื่องจากซอร์บิทอลถูกดูดซึมได้ช้า มีฤทธิ์เป็นยาระบายถ้ารับประทานมากเกินไป ปริมาณในการบริโภคแต่ละวันสำหรับผู้ใหญ่ไม่ควรเกิน 60-80 กรัมต่อวัน เด็กอายุ 5-16 ปี ไม่ควรเกิน 30-40 กรัมต่อวัน โดยปริมาณในการบริโภคแต่ละครั้งสำหรับผู้ใหญ่และเด็ก 20 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ

2.7.3.4 สมบัติในการถนอมอาหาร

จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ซอร์บิทอลได้ ดังนั้นการใช้ซอร์บิทอลแทนน้ำตาลในการผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้มากขึ้น

ตาราง 2.3 ความสามารถของจุลินทรีย์ในการใช้น้ำตาลและซอร์บิทอลเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน

ชนิด	จุลินทรีย์	น้ำตาลและน้ำตาลแอลกอฮอล์			
		กลูโคส	ซูโครส	มอลโตส	ซอร์บิทอล
แบคทีเรีย	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+
	<i>Samonella typhimurium</i>	+	+	+	+
	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	-
	<i>Lactobacillus brevis</i>	+	+	+	-
	<i>Bacillus subtilis</i>	+	+	+	-
	<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	-
ยีสต์	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	+	+	+	-
	<i>Hansenula anomala</i>	+	+	+	-
รา	<i>Aspergillus niger</i>	+	+	+	-
	<i>Claodsporium herbarum</i>	+	+	+	-

หมายเหตุ : + หมายถึง จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ - หมายถึง จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ช้าและน้อย หรือไม่เจริญเลย

ที่มา : เพ็ญศิริ, 2546

2.7.3.5 ผลต่อฟัน

การเกิดฟันผุเกิดจากแบคทีเรียในช่องปากคือ *Streptococcus mutans* ซึ่งสามารถย่อยน้ำตาลในอาหารและเครื่องดื่ม ให้เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำยากพวก glucans ซึ่งจะจับตัวเป็นแผ่นเคลือบบนผิวฟัน แต่เนื่องจากแบคทีเรียในช่องปากไม่สามารถใช้ซอร์บิทอลเพื่อเปลี่ยนเป็น glucans ได้ จึงลดการสร้างกรดอินทรีย์ที่จะไปทำลายผิวฟัน (เพ็ญศิริ, 2546; Jackson, 1990)

2.8 บรรจุกัณฑ์

อาหารที่ผ่านการอบแห้งอย่างเดียวยังไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นได้ต้องใช้กรรมวิธีอื่นร่วมด้วย บรรจุกัณฑ์อาหารมีบทบาทสำคัญในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อรักษาผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสิ่งแวดล้อม ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้นและรักษาคุณภาพของอาหารให้คงอยู่

2.8.1 หน้าที่ของบรรจุกัณฑ์

- หน้าที่หลักของภาชนะบรรจุกัณฑ์

1. บรรจุกัณฑ์ เป็นหน้าที่หลักของบรรจุกัณฑ์ ต้องสามารถบรรจุ ห่อหุ้ม รวบรวมผลิตภัณฑ์ไว้ด้วยกันเพื่อสะดวกรวดเร็วในการขนย้าย การเก็บรักษาและการจัดการ
2. กู้มครองผลิตภัณฑ์ กู้มครองผลิตภัณฑ์จากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น แสง ไอน้ำ ออกซิเจน จุลินทรีย์ เป็นต้น
3. ใช้อำนวยความสะดวกเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาใช้
4. สื่อสารให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ให้กับผู้บริโภค
5. ดึงดูดใจผู้บริโภค หน้าที่นี้สำคัญมากในทางการตลาด บรรจุกัณฑ์ต้องออกแบบได้เหมาะสมและสวยงาม เป็นสิ่งจูงใจให้ผู้บริโภคสนใจซื้อสินค้า

- หน้าที่รองของบรรจุกัณฑ์อาหาร

1. เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักร เพื่อผลิตสินค้าให้มีมาตรฐานการผลิตเดียวกันและมีกำลังการผลิตสูง
2. แสดงเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุควรมีลักษณะเด่นที่ทำให้ผู้บริโภคจดจำได้
3. ทนทานต่อกระบวนการผลิต
4. ป้องกันการปลอมปนผลิตภัณฑ์ โดยเป็นหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการปิดภาชนะ (วารุณี, 2538)

การเลือกบรรจุกัณฑ์ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะของบรรจุกัณฑ์และวิธีการบรรจุ เพื่อให้การบรรจุมีประสิทธิภาพสูงสุด หลักของการเลือกบรรจุกัณฑ์ คือ คุณสมบัติของตัวผลิตภัณฑ์ รูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่จะหาได้ด้วยต้นทุนที่เหมาะสมกับสถานะตลาด พร้อมทั้งสามารถรักษาคุณภาพของอาหารได้ตามอายุที่ต้องการ

2.8.2 วัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติก

ปริมาณการใช้วัสดุพลาสติกในอุตสาหกรรมมีอัตราการเพิ่มสูงมาก เนื่องจากมีข้อดีในการนำมาใช้คือ ง่ายต่อการพิมพ์ลวดลาย ราคาถูก ออกแบบรูปทรงได้หลากหลายรูปแบบ ไม่แตกหักง่ายเวลาขนส่ง ไม่เป็นสนิมและป้องกันความชื้นได้ดี พลาสติกที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร เช่น

1. โพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดและราคาถูก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชัน (polymerisation) ของก๊าซเอทิลีนภายใต้ความดันสูงโดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (metal catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะสายสั้นสายยาวส่งผลให้มีความหนาแน่นต่างกัน

- โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene หรือ LDPE และ Linear Low Density Polyethylene หรือ LLDPE) มีความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นพลาสติกที่ใสมาก เนื่องจากยึดตัวได้ดี ทนต่อการฉีกขาดได้ สามารถป้องกันความชื้น การซึมผ่านของไอน้ำได้ดี ป้องกันการซึมผ่านก๊าซได้ดี ปล่อยให้ไขมันซึมผ่านได้ง่าย

- โพลีเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (medium density polyethylene หรือ MDPE) มีความหนาแน่น 0.926-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

- โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene หรือ HDPE) มีความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความเหนียวและทนต่อการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และไขมันได้ดี มีความแข็งแรงสูง ทนความร้อนได้สูง

2. โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นพลาสติกที่นิยมใช้มากอีกชนิดหนึ่งมีความแข็งแรงกว่า PE มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และไขมันได้ดีกว่า PE ทนความร้อนได้สูง มีความใสและป้องกันความชื้นได้ดี ฟิล์มประเภท OPP (oriented polypropylene) เกิดจาก ฟิล์ม PP ที่มีการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบในระหว่างการผลิตจะมีความใส ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นิยมใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง ขนมอบบี้ว ใช้เป็นฟิล์มหดรัดได้ด้วย (พรพล, 2545; ปูน และ สมพร, 2541)

3. โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) เป็นพลาสติกประเภทโพลีเอสเตอร์ชนิดหนึ่ง ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) ระหว่าง terephthalic acid กับ ethylene glycol สามารถป้องกันการซึม

ผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ และทนต่อสารเคมีได้ดีกว่าฟิล์ม PET ธรรมดา (งามทิพย์, 2550) การใช้งานเป็นวัสดุหลักในการเคลือบ หรือประกบกับพลาสติกชนิดอื่น พลาสติกที่นิยมใช้ร่วมกับฟิล์ม PET คือ PDVC, MDPE, LDPE และ CPP นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัสดุหลักในการเคลือบกับไออะลูมิเนียม และการประกบกับแผ่นเปลวอะลูมิเนียม เช่น PET/Al/MDPE (มยุรีและอมรรัตน์, 2533)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สภาวะการอบแห้งมะเดื่อฝรั่ง (*Ficus carica*) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ช่วงอุณหภูมิ 55-85 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0-3 เมตร/วินาที พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าคงที่ของการอบแห้งและความชื้น โดยอุณหภูมิกอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 55 ชั่วโมง ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 12 ชั่วโมง ซึ่งมีความเร็วลม 3 เมตร/วินาที (Babalís and Belessiotis, 2004) เช่นเดียวกับการอบแห้งมะเดื่อฝรั่งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 ชั่วโมง มีค่า a_w เท่ากับ 0.6 โดยผ่านการแช่สารละลาย กรดซิตริก แคลเซียมแลคเตต และแคลเซียมคลอไรด์ พบว่า มะเดื่อฝรั่งที่ทำการแช่สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.6 % ก่อนการอบแห้ง และบรรจุในสภาวะสุญญากาศสามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (อรุณี, 2549)

การแช่มะเขือเทศหั่นชิ้นในสารละลาย 3 ชนิด คือ โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ที่เข้มข้น 2.0 % (w/v) แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 % และโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 2.0 % ก่อนการอบแห้ง และนำไปเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30-90 วัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการแช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์จะลดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ ส่วนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์ และยังพบว่าเมื่อแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ ส่วนในสารละลายโซเดียมคลอไรด์สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เล็กน้อย (Waqer *et al.*, 1997) และ Burnette (1977) ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.18-1.4 โมลาร์ สามารถลดกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในกล้วยได้ ส่วน Kukura *et al.* (1998) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.3 % พบว่า ลดการเกิดสีน้ำตาลในเห็ด *Agaricus bisporus* ได้ ผลสาลีหั่นชิ้นแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 % สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (Ronsen and Kader, 1989)

กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลในถั่ว *Vigna unguiculata* ได้ (Onibinde and Ojeabulu, 1999) และกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.3 % สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของมะม่วงพันธุ์ Langra เมื่อที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส (Skred, 1996) การใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 % สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมหั่นชิ้นได้ Jiang and Fu (1998) แช่ชิ้นจี่ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 100 มิลลิโมลต่อลิตร สารละลายกลูตาไทโอนความเข้มข้น 10 มิลลิโมลต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมโพลีฟีนอลออกซิเดสได้ 80 แต่การใช้สารผสมร่วมกันจะให้ผลยับยั้งได้ดีกว่าการใช้กรดซัลฟูริกหรือกลูตาไทโอนเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับการแช่ที่อุณหภูมิ Elberta ในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 % นาน 1 นาที พบว่า สามารถยับยั้งกิจกรรมโพลีฟีนอลออกซิเดสได้ 30 % เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเพิ่มเป็นร้อยละ 3 แช่นาน 2 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมโพลีฟีนอลออกซิเดสได้ 42 % (Vamos-Vigyazo, 1995) และ Monica *et al.* (2003) พบว่า การใช้สารละลายผสมแคลเซียมคลอไรด์ 250 กรัมต่อลิตร และกรดซัลฟูริก 1 กรัมต่อลิตร สามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมได้

สภาวะการอบแห้งหอมใหญ่ที่เหมาะสมด้วยตู้อบแห้งแบบถาดคือที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 40.50 อากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมหอมใหญ่ และเวลาในการอบแห้งคือ 13 ชั่วโมง (มารีนาและอภิญา, 2545)

การแช่ชิ้นสับประรดในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40, 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ เพิ่มปริมาณน้ำตาล เพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด แต่มีน้ำหนักรีดลง (Rahman, 1995) เช่นเดียวกับการทดลองของ Wang *et al.* (1999) ในมะละกอและผักกาดเขียว และในกล้วยสุกที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 35, 50 และ 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น ปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้น (Sankat *et al.*, 1997)

น้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 50-70 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6-8 และอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5-1.5 เมตรต่อวินาที พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลและค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Waloszewski *et al.*, 1996)

การลวกชิ้นแอปเปิลแบบ HTST ในน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสถูกยับยั้งได้น้อยที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 55-65 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้มากขึ้น แต่ทำให้แอปเปิลนิ่มลง จึงมีการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.6 เดิมในระหว่างการลวก พบว่าแอปเปิลที่ลวกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะนิ่มกว่าการลวกที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 15 นาที (Del Valle *et al.*, 1998)

การอบแห้งกล้วยโดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า การอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าสีของกล้วยเปลี่ยนแปลงจากเดิมมากกว่าการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส และจากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับ พบว่า ค่าแรงตัด (cutting force) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.37-1.48 กิโลกรัม (kgf) (Cano-Chauca *et al.*, 2002)

การอบแห้งถั่วเขียวแบบ thin layer ด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส โดยการลดความชื้นถั่วเขียวจาก 90.53 % ให้เหลือร้อยละ 14 % พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง เป็นสาเหตุให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง (Doymaz, 2005) เช่นเดียวกับการทดลอง Doymaz *et al.* (2006) ศึกษาการอบแห้งใบ dill และ parsley โดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่ความเร็วลม 1.1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และในระหว่างกระบวนการอบแห้งพบเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น

การหาสูตรในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่เหมาะสม พบว่า สูตรที่เหมาะสมคือ หั่นชิ้นสับปะรดให้มีความหนา 1.5 เซนติเมตร ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 % และกรดซิตริก 1.5 % เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาลวกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และทำการแช่ในสารละลายน้ำตาลกับน้ำสับปะรด ที่มีค่าของแข็งที่ละลายได้ 25 องศาบริกซ์ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.8 และมีการเติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 โดยทำการแช่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า a_w เท่ากับ 0.55 (ลู รุ่งและบุศราภรณ์, 2549)