บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไยจัดเป็นพืชอยู่ในตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์หลายชื่อ คือ *Euphoria longana* Lam., *Euphoria longan* Strend., *Nephelium longana* Camb. และ *Dimocarpus longan* Lour. (พาวิน, 2543) เป็นไม้ผลที่พบทั่วไปในเขตร้อน (Tropical) และเขตกึ่งร้อน (Subtropical) ของเอเชีย ลำไยเป็นไม้พื้นเมืองของอินเดียและพม่า จากอินเดียถูกนำไปปลูกในเกาะมลายู (Malay archipelego) ประเทศจีนตอนใต้ และแพร่ไปยังเขตร้อนของอเมริกาแถบทางตอนใต้ของแคลิฟอร์เนีย และฟลอริดา (พิชัย, 2531) การปลูกเพื่อการค้าอยู่ในประเทศจีนตอนใต้ ภาคกลางของไต้หวัน และทางภาคเหนือของประเทศไทย (Tongdee, 1997) โดยจังหวัดที่ปลูกลำไยมากได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย แพร่ น่าน ลำปาง และตาก

ลำไยเป็นผลไม้ชนิดบ่มไม่สุก (Non-climacteric) มีรสหวาน มีกลิ่นหอม ไม่มีรสเปรี้ยว มีความหวานประมาณ 16 - 20 ^{o}Brix ค่า pH 6.7 - 6.9 (ชนันท์, 2545) เนื้อลำไยสดประกอบด้วยน้ำตาลหลัก 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส กรดอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ กรดกลูโคนิก กรดมาลิก กรดซิตริก และมีกรดอะมิโน 9 ชนิด ทำให้ลำไยมีสรรพคุณทางยา คือ ใช้เป็นยาบำรุงในคนที่เป็นโรคประสาทอ่อน ๆ และนอนไม่หลับ บำรุงม้าม และบำรุงหัวใจ (วีรชัย, 2538) ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของลำไยสด และลำไยอบแห้ง แสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยอบแห้ง

สารอาหาร	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
ความชื้น	81.10	17.80
ไขมัน	0.11	0.40
เส้นใย	0.28	1.60
โปรตีน	0.97	4.60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 (ต่อ)

สารอาหาร	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
เถ้า	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต	16.98	72.70
ค่าพลังงานความร้อน (kcal/100g)	72.79	311.80
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	35.30	159.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	4.50
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	2,012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	3.03
กรดแพนโทธินิค (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.57
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.37

ที่มา: กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2521)

จากตาราง 2.1 จะเห็นว่าส่วนประกอบทางเคมีที่มีปริมาณมากในลำไย คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งอยู่ในรูปของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ดังนั้นจึงทำให้ลำไยมีรสหวานจัด นอกจากปริมาณความชื้นที่มีมากแล้ว องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่พบได้แก่ โปรตีน เส้นใย เถ้า แร่ธาตุ และวิตามินในกลุ่มของวิตามินบี และวิตามินซี

พันธุ์ลำไยที่นิยมปลูกมาก คือ พันธุ์กระโหลก พันธุ์ดอ พันธุ์สีชมพู พันธุ์แห้ว และพันธุ์เบี้ยวเขียว โดยเฉพาะพันธุ์ดอจะเป็นพันธุ์ที่ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะออกดอกและเก็บเกี่ยวผลได้ก่อนพันธุ์อื่น ทำให้ได้ราคาดี เป็นพันธุ์ที่ตลาดต่างประเทศนิยม และเหมาะสำหรับแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อบแห้ง น้ำเข้มข้น แช่แข็ง แช่อิ่ม และลำไยกระป๋อง เป็นต้น (พาวิน, 2543) จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์แปรรูปต่างๆ ของลำไยมีหลากหลายชนิด

ลำไยพันธุ์ดอหรืออีดอ เป็นลำไยพันธุ์เบา คือ ออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ชาวสวนจึงนิยมปลูกมากสุดเพราะเก็บเกี่ยวได้ก่อน ทำให้ได้ราคาดี ตลาดต่างประเทศนิยมสามารถจำหน่ายทั้งผลสด แปรรูปทำลำไยกระป๋อง และอบแห้ง ลำไยพันธุ์นี้เจริญเติบโตดีเฉพาะในดินอุดมสมบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และมีน้ำพอเพียง ทนแล้งและทนน้ำได้ดีปานกลาง ลำไยพันธุ์ดอแบ่งตามสีของยอดอ่อนได้ 2 ชนิด ดังนี้ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยและลิ้นจี่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2543)

ดอยอดแดง เจริญเติบโตเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับดอยอดเขียว ลำต้นแข็งแรงไม่ฉีกหักง่าย เปลือกลำต้นมีสีน้ำตาลปนแดง ใบอ่อนมีสีแดง ปัจจุบันไม่นิยมปลูกเองเนื่องจากออกดอกติดผลไม่ดีและเมื่อผลเริ่มสุกถ้าเก็บไม่ทันผลจะร่วงเสียหายมาก

ดอยอดเขียว มีลักษณะต้นคล้ายดอยอดแดง ใบอ่อนเป็นสีเขียว ออกดอกติดผลง่ายแต่อาจไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ลำไยพันธุ์ดอยังแบ่งตามลักษณะของก้านช่อผลได้อีก 2 ชนิด คือ ดอก้านอ่อน จะมีเปลือกของผลบาง และดอก้านแข็งมีเปลือกของผลหนาขนาดผลค่อนข้างใหญ่เฉลี่ยกว้าง 2.7 เซนติเมตร หนา 2.4 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร ทรงผลกลมแป้น เบี้ยวยกบ่าข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล มีกระหรือตาห่าง สีน้ำตาลเข้ม เนื้อค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น ปริมาณน้ำตาล 20 % เมล็ดขนาดใหญ่ปานกลาง รูปร่างแบนเล็กน้อย

2.2 น้ำตาลซูโครส

น้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทราย ที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรมนั้นจะผลิตจากอ้อย (sugar cane) ซึ่งเป็นพืชที่ปลูกในเขตร้อน ประมาณ 60 % และผลิตจากหัวบีท (beet root) ซึ่งปลูกในเขตอบอุ่น ประมาณ 40 % (Yudkin, 1971) กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยและหัวบีทมีหลักการคล้ายกัน คือสกัดเอาสารละลายน้ำตาลออกมา (ในกรณีที่เป็นอ้อย ใช้วิธีบีบคั้นเอาน้ำอ้อย ส่วนหัวบีทจะต้องใช้น้ำสกัด) นำมากรองให้สะอาด แล้วต้มระเหยเอาน้ำออกจนถึงระดับที่น้ำตาลสามารถตกผลึกแยกตัวออกมาได้

น้ำตาลทรายที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหรือส่วนผสมในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมลูกกวาด อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมขนมอบจำพวกเค้กและบิสกิต ส่วนที่เหลือจะนำไปขายปลีกเพื่อใช้ปรุงอาหารในครัวเรือน (Yudkin, 1971) น้ำตาลทรายนิยมใช้ในการเตรียมน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง แม้ว่าน้ำตาลทรายจะเป็นไดแซคคาไรด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพของการแทรกผ่านเนื้อเยื่อผลไม้ต่ำกว่ากลูโคสและฟรุกโตส แต่เมื่อผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนและประกอบกับกรดที่มีในผลไม้จึงทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลทรายบางส่วนไปเป็นกลูโคสและฟรุกโตส (สินธนา, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมบัติของน้ำตาลซูโครส

1) ให้รสหวาน เป็นลักษณะที่เด่นมากของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่มีน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลละลายในน้ำได้ง่าย ทำให้ขณะที่บริโภคผลิตภัณฑ์อยู่ในปาก จะรู้สึกหวานเร็วกว่าการบริโภคผลิตภัณฑ์กลุ่มที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลักในเฟสต่อเนื่องที่มีปริมาณน้ำตาลเท่ากัน

2) การเกิดอินเวอร์ชัน น้ำตาลซูโครสสามารถถูกแยกให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคือ น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสในปริมาณที่เท่า ๆ กัน ซึ่งเรียกรวมว่า น้ำตาลอินเวิร์ท ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลอินเวิร์ท คือ อัตราการให้ความร้อน ระยะเวลาการให้ความร้อน ปริมาณกรดหรือค่า pH ของสารละลาย และเอนไซม์อินเวอร์เทส โดยในระบบที่มีค่า pH ต่ำ และอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดน้ำตาลอินเวิร์ทในปริมาณที่สูง (ศิริลักษณ์, 2525) น้ำตาลอินเวิร์ทมีผลต่อการยับยั้งการตกผลึกของน้ำตาลซูโครส โดยเฉพาะในอาหารที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง อย่างไรก็ตาม หากมีน้ำตาลอินเวิร์ทมากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลเดกซ์โตรสได้ (ไพบูลย์, 2532)

3) การละลาย (solubility) น้ำตาลละลายได้ดีที่อุณหภูมิห้อง โดยละลายได้จนมีความเข้มข้นสูงสุดถึง 66.4 % ที่อุณหภูมิ 20 ^{o}C และ 76.4 % ที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C (Brook, 1971) หากเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 100 ^{o}C จะละลายได้ถึง 82 % (สายสนม และสิริ, 2539)

4) จุดเดือดของสารละลายน้ำตาล ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายน้ำตาลที่อิ่มตัวแล้ว น้ำตาลจะละลายได้เพิ่มขึ้น และจุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้นจากเดิม (ศิริลักษณ์, 2525)

5) ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีหน่วยเป็นบริกซ์หรือโบเม่ การวัดค่าจะวัดที่อุณหภูมิมาตรฐาน คือ 20 ^{o}C (สุวรรณา, 2543)

บริกซ์ (Brix หรือ ^{o}Bx) หมายถึง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำตาลซูโครสในสารละลายน้ำตาล ที่วัดด้วยเครื่องแฮนด์รีแฟรกโตมิเตอร์ (hand refractometer)

โบเม่ (Baume, ^{o}Be′) มีค่าเท่ากับ M-M/S

เมื่อ M = 145 (ใช้ในสหรัฐอเมริกาและบางประเทศในยุโรป)

หรือ M = 144.3 (ใช้เฉพาะในสหราชอาณาจักร)

S = ความถ่วงจำเพาะของสารละลายน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 วัตถุเจือปนอาหาร

ความหมายของวัตถุเจือปนอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (2527) และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 119 (2532) และตามคณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission, CAC) มีดังนี้ (ศิวาพร, 2546)

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (2527) และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 119 (2532) ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า "วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง วัตถุที่ปกติมิได้ใช้เป็นอาหาร หรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหาร เพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีในการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐาน หรือลักษณะของอาหารและให้ความหมายรวมถึงวัตถุที่มิได้เจือปนอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหาร เพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย"

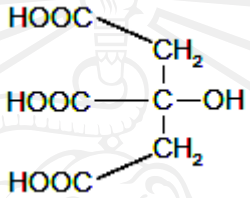
ตามคณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission, CAC) กำหนดไว้ว่า "วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึงสารซึ่งปกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่มีคุณค่าทางอาหารก็ได้ และวัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นในอาหาร ก็เพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่ง และอายุการเก็บของอาหารนั้น และมีผลหรืออาจมีผลทางตรงหรือทางอ้อม ทำให้สารนั้นหรือผลิตผลพลอยได้ของสารนั้น กลายเป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น หรือมีผลต่อคุณลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่ได้รวมถึง สารปนเปื้อน หรือ สารที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของอาหาร"

2.3.1 กรดซิตริก

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากตามธรรมชาติในพืชและสัตว์ ในมนุษย์จะมีการสร้างกรดซิตริกในระหว่างการเมตาโบไลส์คาร์โบไฮเดรตและไขมัน ส่วนในพืชจะพบกรด ซิตริกมาก เช่น พืชตระกูลส้มพบประมาณ 4 - 8 % มะนาว 1.2 - 2.1 % องุ่น 0.9 - 1.2 % ส้มเขียวหวาน 0.6 - 1.0 % (Bouchard and Merrett, 1979) นอกจากนั้นก็มีการพบในพืชชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น สับปะรด สตรอเบอร์รี่ และมะม่วง เป็นต้น กรดซิตริกมีคุณสมบัติดีกว่ากรดชนิดอื่นๆ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพสูงจึงมีการนิยมใช้กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริกในอุตสาหกรรมอาหารกันมาก การใช้กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริก ช่วยปรับให้มีกลิ่นรสและความเป็นกรด-ด่างที่พอเหมาะเป็นวัตถุกันเสีย ช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ การใช้กรดซิตริกปรับความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลงในอุตสาหกรรมผักและผลไม้กระป๋องนั้น พบว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิและเวลาที่ต้องใช้ในการฆ่าเชื้อลง มีผลในการช่วยลดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Gardner, 1972)



รูป 2.1 สูตรโครงสร้างของกรดซิตริก
ที่มา: ศิวาพร (2546)

2.3.2 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารที่ช่วยให้เนื้อเยื่อของผักและผลไม้คงตัว (firming agent) ซึ่งสารประกอบนี้เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้อนุมูลแคลเซียม และเมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกติกจะเกิดเป็นเกลือเพกเตท ทำให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรงขึ้นและทนต่อความร้อนได้มากยิ่งขึ้น การใช้สารประกอบแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้นั้น กฎหมายอนุญาตให้ใช้ได้ปริมาณสูงสุดของแคลเซียมไม่เกิน 800 ppm. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ส่วนผลไม้แช่อิ่มจะมีแคลเซียมได้ไม่เกิน 250 ppm. เมื่อผลไม้สุกความเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนประการหนึ่ง คือ เนื้อผลไม้นิ่มลงมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์เคมีในผนังเซลล์ของเนื้อผลไม้และเอนไซม์เพคติน แคลเซียมจะเป็นปัจจัยที่ทำให้ผนังเซลล์ของเนื้อผลไม้ไม่เปลี่ยนแปลง วิธีการที่นิยมใช้กันมาก คือ การจุ่มชิ้นผลไม้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) 0.5 % หรือ 1% ผลไม้ที่ได้ผลดีสำหรับวิธีนี้ คือ สตรอเบอร์รี่ แพร์ แครอท แอปเปิ้ล วิธีนี้ทำให้แอปเปิ้ลที่ปอกหั่นเป็นแท่งจุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทันทีที่เก็บเกี่ยวสามารถเก็บที่อุณหภูมิ 38 ^{o}C ได้นาน 6 วัน และจะเก็บได้นานถึง 6 เดือนถ้าแช่เย็น นอกจากนี้แตง (Melon) จะมีเนื้อแข็งแรงขึ้นเมื่อจุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และจะแข็งมากขึ้นถ้าแช่เย็น และแคลเซียมคลอไรด์ยังช่วยลดความขมของผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เช่น แตง (Melon) และมีผลให้เนื้อผลไม้ยังคงความแข็งหลังจากผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน (สำนักบริการส่งออก กรมส่งเสริมการส่งออก, 2546)

2.4 ผลไม้ในน้ำเชื่อม

ผลไม้ในน้ำเชื่อมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้มาตัดแต่ง เช่น ปอกเปลือก คว้านเมล็ด หั่นเป็นชิ้น อาจล้างน้ำหรือแช่ในน้ำเกลือ แล้วแช่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเหมาะสม ลักษณะทั่วไปนั้นต้องมีสัดส่วนของเนื้อผลไม้และน้ำเชื่อมในปริมาณที่เหมาะสม ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ในน้ำเชื่อมและไม่คล้ำ ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ในน้ำเชื่อม ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นหมัก อีกทั้งต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ในน้ำเชื่อม ไม่นิ่มเละ และต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ ในด้านวัตถุเจือปนอาหารนั้นห้ามใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลทุกชนิดและหากมีการใช้วัตถุกันเสีย ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด นอกจากนั้นต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์ และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม โดยกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งจะครอบคลุมเฉพาะผลไม้ในน้ำเชื่อมที่บรรจุในภาชนะบรรจุ ไม่ครอบคลุมถึงผลไม้ในน้ำเชื่อมที่บรรจุในกระป๋องโลหะ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547)

2.5 กรรมวิธีทำลำไยในน้ำเชื่อม

กรรมวิธีทำลำไยในน้ำเชื่อมจะใช้ลำไยพันธุ์กะโหลกที่มีเนื้อหนาและกรอบ เช่น เบี้ยวเขียว อีดอ แห้ว เป็นต้น สำหรับลำไยที่มีเนื้อบางไม่นิยม ลำไยต้องสดและแก่กำลังพอดี คัดขนาดให้ได้เท่ากันนำไปล้างน้ำให้สะอาด ปอกเปลือก คว้านเอาเมล็ดออก โดยจะนำไป แช่ในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก และแคลเซียมคลอไรด์ ล้างน้ำอีกครั้ง แล้วผึ่งให้สะเด็ดน้ำ ต่อมาทำน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นระหว่าง 23 - 25 ^{o}Brix (น้ำเชื่อมเข้มข้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหวานของลำไยด้วย) และเติมกรดซิตริก บรรจุลำไยลงกระป๋องเคลือบดีบุก เติมน้ำเชื่อมร้อน ๆ ที่เตรียมไว้ นำไปไล่อากาศให้อุณหภูมิตรงกึ่งกลางกระป๋องร้อนประมาณ 85 ^{o}C แล้วปิดกระป๋อง นำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ (สำนักงานเกษตร และสหกรณ์จังหวัดเชียงใหม่, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 สารพิษจากภาชนะกระป๋อง

ลำไยในน้ำเชื่อมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนั้นนิยมบรรจุลงกระป๋อง พบว่าสารพิษที่แฝงมากับกระป๋องคือสารตะกั่วและดีบุก โดยในการผลิตกระป๋องบรรจุอาหารนั้นใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุกมาเชื่อมต่อกันด้วยโลหะผสมตะกั่วซึ่งเป็นสารที่ใช้เคลือบกระป๋องเพื่อกันสนิม หากนำไปบรรจุอาหารที่มีสารบางชนิดปนอยู่หรือการเก็บอาหารกระป๋องในที่ร้อนดีบุกจะละลายมาในอาหารได้ และเมื่อเปิดกระป๋องแล้วออกซิเจนจากอากาศจะเป็นตัวเร่งให้ดีบุกละลายมากขึ้น อาหารกระป๋องจึงเป็นแหล่งสำคัญที่ผู้บริโภคมีโอกาสได้รับธาตุดีบุกมากกว่าอาหารประเภทอื่น นอกจากนั้นตะกั่วบริเวณตะเข็บกระป๋องด้านในมีโอกาสจะละลายลงในอาหารได้ จากการตรวจพบตะกั่วในอาหารเกือบทุกประเภท 1 ใน 3 ของอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อนเป็นอาหารกระป๋อง อีกทั้งปริมาณดีบุกและตะกั่วที่พบในอาหารจะสูงขึ้น ตามระยะเวลาที่เก็บหลังจากเปิดกระป๋อง โดยเฉพาะถ้าอาหารมีรสเปรี้ยวจะยิ่งเร่งปฏิกิริยาให้มีการสลายออกมาเร็วขึ้น (อมรา, 2550)

ดังนั้น จึงมีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกมาใช้ในการบรรจุอาหารแทนกระป๋อง ซึ่งมีน้ำหนักเบา ใช้สำหรับบรรจุอาหารโดยสามารถทนความร้อนและความดันในระหว่างการฆ่าเชื้อได้เช่นเดียวกับกระป๋องและขวดแก้ว อีกทั้งสามารถเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นานตั้งแต่ 6 เดือน จนถึง 2 ปี (สถาบันอาหาร, 2547)

2.7 บรรจุภัณฑ์พลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่ของเหลวและเชื้อจุลินทรีย์ซึมผ่านไม่ได้ แต่ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของวัสดุ บางชนิดป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำเพียงอย่างเดียว บางชนิดสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้ขึ้นกับคุณสมบัติเชิงกลและความทนต่อความร้อนของพลาสติกแต่ละชนิด ซึ่งข้อดีของพลาสติกแต่ละชนิดนั้นสามารถนำมารวมกันเพื่อให้เกิดคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญที่จะนำมารวมกัน ได้แก่ วัสดุที่เป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ และวัสดุที่เป็นตัวสนับสนุนทางกายภาพด้านทนทานต่อความร้อนและการซึมผ่านของไอน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.1 โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE)

ในบรรดาฟิล์มพลาสติกที่ใช้สำหรับหีบห่อ PE เป็นพลาสติกที่มีการใช้กันในปริมาณมากที่สุดและในขอบเขตที่กว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นผลิตผลสด ผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ (มยุรี และอมรรัตน์, 2533) เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อเทียบกับพลาสติกอื่น ๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ โดย PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชันของก๊าซเอทิลีน (ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง โดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (metal catalyst) การจับตัวกันของโมเลกุลในลักษณะโซ่สั้นและยาว จะส่งผลให้ PE ที่ได้ออกมามีความหนาแน่นแตกต่างกัน PE แบ่งเป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่น คือ

1. โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE และ Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) ความหนาแน่น 0.910 - 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
2. โพลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene, MDPE) ความหนาแน่น 0.926 - 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ความหนาแน่น 0.941 - 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้มากและมีชื่อสามัญว่าถุงเย็น มักใช้ทำถุงฟิล์มหด ฟิล์มยืด ขวดน้ำและฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยืดหดตัวได้ดี ทนต่อการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของ PE สามารถป้องกันความชื้นได้ดีพอสมควร แต่ไขมันสามารถซึมผ่านได้ง่าย แต่ทนกรดและด่างทั่วไป นอกจากนี้ LDPE ยังสามารถปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่นของขบเคี้ยวและของทอด เมื่อใส่ในถุงเย็นธรรมดาคุณภาพอาหารจะเปลี่ยนแปลงไปในเวลาไม่กี่วัน

LLDPE เป็นพลาสติกที่มีการผลิตภายใต้สภาวะความดันต่ำ โดยนิยมใช้เป็นชั้นป้องกันความชื้นโดยการเคลือบกับ PE ซึ่ง LLDPE มีคุณสมบัติดีกว่า LDPE แต่จุดอ่อนคือ ขุ่นกว่า LDPE

HDPE ส่วนใหญ่จะนิยมเป่าเป็นขวดเนื่องจากความหนาแน่นสูง ทำให้ HDPE เหนียวและทนต่อการซึมผ่านดีกว่า PE ที่มีความหนาแน่นต่าง ๆ กัน แต่ยังไม่สามารถป้องกันการซึมผ่าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของก๊าซได้ดีนัก นอกจากขวดแล้ว HDPE ยังสามารถใช้เป่าเป็นฟิล์มหรือทำเป็นถาดที่ไม่ต้องการความใสมากนัก (ปุ่น และสมพร, 2541)

คุณสมบัติของ PE

1. โปร่งแสง โดยทั่วไปเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นความใสจะลดลง
2. นิ่มและยืดหยุ่น
3. มีความเหนียวสูง
4. ทนทานต่อสารเคมีพวกกรดและด่าง
5. การดูดซึมน้ำต่ำมาก
6. ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี
7. ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ
8. ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ต่ำ
9. ปิดผลึกด้วยความร้อนได้ดี ยกเว้น HDPE
10. มีความปลอดภัย สามารถใช้กับอาหารและยาได้

การใช้งาน PE นั้นมีการใช้งานในหลายประเภท ได้แก่ ถุงบรรจุอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ อาหารแข็ง ใช้สำหรับบรรจุสินค้าหนัก เช่น ผลผลิตทางการเกษตร ใช้เป็นถุงชั้นในของกระสอบพลาสติก ใช้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ เช่น พลาสติกต่างๆ กระดาษ และอลูมีเนียม ในลักษณะการประกบหรือการรีดร่วม หรือการเคลือบ เพื่อเสริมคุณสมบัติการใช้งานให้เหมาะสม เช่น PET/LLDPE, Nylon/LLDPE ใช้ทำถุงบรรจุอาหารแช่แข็งที่บรรจุด้วยระบบสุญญากาศ เป็นต้น โดย LLDPE หรือ LDPE ทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการปิดผนึก ป้องกันไอน้ำ และเพิ่มความเหนียว (มยุรี และอมรรัตน์, 2533)

2.7.2 รีทอร์ทเพาซ์ (Retort pouch)

บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวรีทอร์ทเพาซ์ ประกอบด้วยวัสดุ เช่น พลาสติก อลูมีเนียม วัสดุเชื่อมประสานตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป เพื่อใช้ในการบรรจุอาหารวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติสามารถทนความร้อนและความดันในระหว่างการฆ่าเชื้อได้เช่นเดียวกับกระป๋อง อีกทั้งสามารถเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นานตั้งแต่ 6 เดือน จนถึง 2 ปี ณ อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2.1 วัสดุและรูปแบบ

บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวจำพวก รีทอร์ทเพาซ์ที่ใช้สำหรับบรรจุอาหารและผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและความดันสูง เป็นพลาสติกหลายชนิดมาประกอบกันด้วย การเชื่อมประสานกันด้วยกาวหรือเป็นแผ่นฟิล์มรีดร่วมกันก็ตาม จะต้องมีคุณลักษณะที่เหนือกว่าฟิล์มเดี่ยว ๆ ธรรมดา ในด้านความคงทนต่ออุณหภูมิต่ำและสูง การเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ

โครงสร้างหลักของรีทอร์ทเพาซ์ประกอบด้วย ชั้นของฟิล์มพลาสติกฟอยล์หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน แสงสว่าง ความชื้น และชั้นปิดผนึก (Sealant) จากโครงสร้างเหล่านี้นอกจากจะทำให้มีคุณสมบัติในการปกป้องคุ้มครองสินค้าและยืดอายุการเก็บแล้ว รีทอร์ทเพาซ์ยังสะดวกต่อการใช้งานเพิ่มคุณค่าของสินค้าในด้านการช่วยลดเวลาการปรุงอาหาร ลดการใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังในการใช้รีทอร์ทเพาซ์ โดยเฉพาะการรั่วอันเนื่องจากการปิดผนึกที่ไม่สมบรูณ์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันหรือตรวจสอบให้มั่นใจก่อนการลำเลียงขนส่ง

การเลือกใช้โครงสร้างถุงรีทอร์ทเพาซ์อย่างพิถีพิถันร่วมกับการใช้กาวชนิดพิเศษที่ป้องกันการหลุดหลอก (delamination) และปิดผนึกได้แน่นเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันการเกิดรอยรั่วได้ ถุงฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีทั้งประเภททึบใส ซึ่งมีโครงสร้างทั่วไปเป็นพลาสติก 3 ชั้น เชื่อมประสานกัน ชั้นนอกจะเป็นชั้นที่เหนียวทนต่อการขีดข่วน ชั้นกลางเป็นชั้นที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน และชั้นในจะเป็นชั้นที่มีคุณสมบัติที่ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ และสามารถสัมผัสอาหารได้โดยปลอดภัย (สถาบันอาหาร, 2547)

วัสดุที่ใช้ทำรีทอร์ทเพาซ์ โดยทั่วไปมักประกอบด้วย polyester (PET)/aluminium foil/modified polyolein หรือ modified polyamide (nylon 6) หรือ cast polypropylene โดยพลาสติกแต่ละชั้นจะเชื่อมติดกันด้วยกาวที่ทนต่อสภาวะความกดดันของหม้อฆ่าเชื้อได้ดี กาวที่ใช้เป็นพวก polyester isocyanate (toluene diisocyanate) การจะใช้วัสดุชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอาหารที่บรรจุ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ควรใช้โพลีเอสเทอร์ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างโครงสร้างรีทอร์ทเพาซ์ที่ใช้กัน ได้แก่

- 3 ชั้น : polyester/aluminium foil/modified polyolefin
- 3 ชั้น : polyester/aluminium foil/cast polypropylene
- 2 ชั้น : modified polyamide/cast polypropylene
- 4 ชั้น : polyester/aluminium foil/modified polyamide/cast polypropylene

รูปแบบของรีทอร์ทเพาซ์อาจเป็นซองสี่เหลี่ยมแบน ปิดผนึกทั้ง 4 ด้าน มีความหนาของตะเข็บ 3/8 นิ้วขึ้นไป หรือเป็นแบบมีส่วนขยายที่ก้นถุง (gusset) เพื่อให้ตั้งได้ นอกจากนั้นยังมีการพัฒนาเป็นลักษณะของถาดหรือถ้วย ขนาดบรรจุมีน้ำหนักตั้งแต่ 80 ถึง 2,000 กรัมหรือมิลลิลิตร

2.7.2.2 คุณสมบัติของรีทอร์ทเพาซ์ (สถาบันอาหาร, 2547)

1. สัมผัสกับอาหารได้โดยปลอดภัย อนุมัติให้ใช้ได้โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
2. ป้องกันก๊าซออกซิเจน และไอน้ำได้ดีมาก
3. ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน/น้ำมัน และส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาหาร
4. ทนต่ออุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อ 145 ^{o}C
5. ปิดผนึกได้ด้วยความร้อนได้ดี และในช่วงอุณหภูมิกว้าง
6. มีความแข็งแรงทางกายภาพ ไม่แตกทะลุหรือฉีกขาดง่าย
7. สามารถใช้กับเครื่องขึ้นรูปและเครื่องบรรจุอัตโนมัติได้
8. สามารถพิมพ์ลวดลาย และข้อความต่าง ๆ ได้ง่าย ชัดเจน และทนทาน

2.7.2.3 ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ

รีทอร์ทเพาซ์รูปแบบที่เป็นถุง เหมาะกับอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวหรือมีชิ้นส่วนที่อ่อนนุ่ม เช่น ซุป ซอส น้ำผลไม้ อาหารเนื้อ ปลา ผักต่าง ๆ ลูกชิ้น เนื้อกุ้ง เนื้อปู แกงเผ็ด เป็นต้น ถ้ามีส่วนที่เป็นกระดูกจะมีปัญหาด้านการทิ่มแทงทำให้รั่ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2.4 ข้อดีข้อเสียของถุงรีทอร์ทเพาซ์

ข้อดีของถุงรีทอร์ทเพาซ์

1. คุณภาพของอาหารดีมาก ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่าเวลาในการฆ่าเชื้อกระป๋องถึง 3 เท่า ในภาชนะบรรจุขนาดเดียวกัน
2. ประหยัดพลังงานในการผลิต
3. น้ำหนักเบาง่ายต่อการขนส่ง และการกำจัดทิ้ง
4. สะดวกในการบริโภค เปิดง่าย และปลอดภัย

ข้อเสียของถุงรีทอร์ทเพาซ์

1. การลงทุนเบื้องต้นสูง เครื่องมือมีราคาแพงมาก อัตราการผลิตของถุงค่อนข้างต่ำกว่าการผลิตกระป๋อง
2. การผลิตยุ่งยาก และต้องควบคุมอย่างดี
3. มีอัตราการสูญเสียสูงกว่า เนื่องจากการแตก การกระแทกระหว่างการขนถ่ายและขนส่ง

2.8 การเสื่อมคุณภาพของอาหาร

อาหารได้มาจากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นชีวภาพสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมเสียได้ตามธรรมชาติ มนุษย์จึงได้คิดค้นกระบวนการแปรรูปและถนอมอาหารด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การทำแห้ง การหมักดอง การใช้ความร้อนหรือความเย็น การฉายรังสี เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่เสถียรมากขึ้นและเก็บรักษาได้นานขึ้น อย่างไรก็ตามอาหารเหล่านี้ยังคงเสื่อมเสียได้อีก ทั้งในระหว่างกระบวนการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมายถึง การที่ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค การเปลี่ยนแปลงนั้นได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส (เช่น กลิ่น สี รส เนื้อสัมผัส) คุณภาพทางจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอาหาร (เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ การบูดเน่า การเกิดสารพิษ) และคุณภาพทางโภชนาการ (เช่น การสูญเสียวิตามิน โปรตีนถูกทำลายหรือเสื่อมคุณภาพ)

การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารมีสาเหตุหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวเคมี ทางกายภาพ ทางเคมีฟิสิกส์ และทางจุลชีววิทยา เนื่องจากความซับซ้อนขององค์ประกอบใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหาร ทำให้การเสื่อมเสียคุณภาพมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงหลายสาเหตุร่วมกัน โดยอาจจะมีสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าสาเหตุอื่น ๆ ได้ บางกรณีการเปลี่ยนแปลงหนึ่งอาจไปเสริมหรือเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นได้ เช่น ความชื้นที่เพิ่มขึ้นของอาหารทอดกรอบ จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารทำให้เหม็นหืนเร็วขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องเข้าใจสาเหตุและกลไกการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นเป็นอย่างดี (งามทิพย์, 2550)

2.8.1 คุณภาพทางกายภาพ

2.8.1.1 เนื้อสัมผัส

วิธีการทดสอบเพื่อชี้บ่งสมบัติหรือลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องมือโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี

1. Empirical methods เป็นวิธีการทดสอบทางกายภาพที่กระทำกับตัวอย่างที่วัดในทิศทางเดียว และเป็นวิธีทดสอบที่สร้างขึ้นจากผลการทดลองและการสังเกต ที่ขาดหลักอ้างอิงพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์เท่าที่ควร แต่มีคุณภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพของลักษณะเนื้อสัมผัสในอุตสาหกรรมอาหารได้ ตัวอย่างเครื่องมือทดสอบดังกล่าวเช่น

- Adam's consistometer: เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพของเนื้อแอปเปิ้ลตีป่นและข้าวโพดชนิดครีม โดยทำการวัดระยะทางที่ตัวอย่างไหลแผ่ออกไปในเวลาที่กำหนด ซึ่งระยะทางที่ไหลแผ่ออกไปจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวอย่าง ได้แก่ รูปร่าง ขนาดอนุภาค แรงตึงผิวของตัวอย่าง

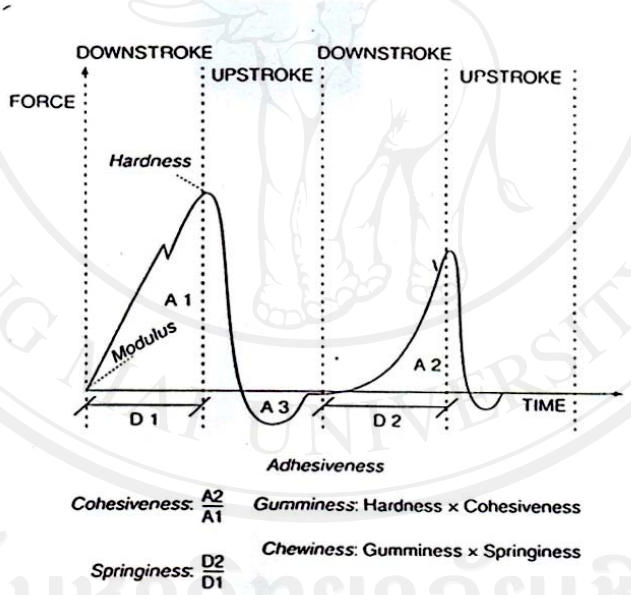
- Bloom Gelometer: เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้วัดค่า Bloom strength ของเจลาตินในโรงงานอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ เพื่อแบ่งเกรดเจลาติน โดยเป็นการวัดแรงที่ใช้กดหัวกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ลงไปในเจลาตินมาตรฐานที่ระยะความลึก 4 มิลลิเมตร (Rosenthal, 1999)

แม้ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือดังกล่าวนี้จะไม่ใช่ค่าทางวิทยาศาสตร์ที่ชี้บ่งถึงพฤติกรรมการไหลของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ แต่เป็นค่าที่สัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างดี โดยต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง และกำหนดค่าของการวัดให้แน่นอนและเป็นมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. Imitative methods เป็นวิธีการทดสอบที่มีกลไกเลียนแบบจังหวะการบดเคี้ยวอาหารของมนุษย์ โดยเป็นการวัดค่าแรงกดหรือการเปลี่ยนรูปในแต่ละลำดับการทดสอบ วิธีการนี้ให้ค่าที่เป็นมาตรฐานของเนื้อสัมผัสอาหาร ได้แก่ Texture Profile Analysis (TPA) มีกลไกการเลียนแบบการบดเคี้ยว 2 ครั้ง และให้ค่าที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด

วิธีการนี้ทำได้โดยใช้หัวกดปลายแบนกดลงบนผิวตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ ตามอัตราการเปลี่ยนรูปที่กดไว้ ค่าแรงต้านการกดที่เกิดขึ้นในตัวอย่างอาหาร จะถูกวัดเมื่ออาหารถูกกด หลังจากการบดเคี้ยวครั้งแรกนี้ หัวกดจะถูกยกขึ้นเพื่อปล่อยให้ตัวอย่างคลายตัว ในขณะที่แรงดึงที่เกิดจากความเหนียวของชิ้นอาหารที่ทำให้ติดกับหัวกดขึ้นไปจะถูกวัดค่า และในการบดเคี้ยวครั้งที่สอง เมื่อตัวอย่างถูกกดอีกครั้ง จะเกิดแรงต้านขณะที่ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนรูป (Smewing, 1999) กราฟที่ได้จากการวัด Texture Profile Analysis แสดงดังรูป 2.2



รูป 2.2 รูปแบบกราฟที่สร้างได้จาก Texture Profile Analysis
ที่มา: Smewing (1999)

จากกราฟในรูป 2.2 พารามิเตอร์ที่ชี้บ่งลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดตัวอย่างโดยวิธี Texture Profile Analysis ได้แก่

Hardness: ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดหัววัดลงบนตัวอย่างครั้งแรก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Fracturability: ค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างเปราะหรือแตกออกเมื่อกดหัววัดบนตัวอย่างครั้งแรก จากกราฟจะเป็นตำแหน่งแรงสูงสุดก่อนที่แรงจะตกหลังจากที่ตัวอย่างแตกออก หลังจากนั้นแรงจะเพิ่มขึ้นไปอีกครั้งจนถึงค่าแรงสูงสุด ค่าความเปราะนี้บางครั้งอาจใช้คำว่า “ brittleness”

Adhesiveness: งานที่ต้องการใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่างจากการกดครั้งแรก คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของ A3 ตัวอย่างที่มีผิวหน้าเหนียวหรือเกาะติดกับหัววัด จะทำให้มีพื้นที่ดังกล่าวมาก

Cohesiveness: ความแข็งแรงของพันธะที่เกิดขึ้นภายในชิ้นตัวอย่าง คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่สองหารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรก

Springiness: ระยะทางที่ตัวอย่างคลายตัวกลับขึ้นมาหลังจากดึงหัวกดขึ้น คำนวณจากเวลาที่ใช้ในการกดตัวอย่างครั้งที่สองจนถึงจุดแรงสูงสุด หารด้วยเวลาที่ใช้ในการกดตัวอย่างครั้งแรกจนถึงจุดแรงสูงสุด โดยเริ่มคิดเวลาเมื่อเริ่มมีแรงต้านเกิดขึ้นจากการกดตัวอย่าง บางครั้งอาจใช้คำว่า “elasticity”

Gumminess: พลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน คำนวณได้จากการนำค่า hardness คูณด้วยค่า cohesiveness

Chewiness: พลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารแข็งจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน คำนวณได้จากการนำค่า gumminess คูณด้วยค่า springiness

3. Fundamental methods เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของเจลหรือวัสดุอย่างแท้จริง โดยใช้หลักการวัดพร้อมทั้งแสดงค่าออกมาเป็นหน่วยในทางวิทยาศาสตร์ และสามารถนำความสัมพันธ์จากสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่วัดได้ไปทำนายค่าของสมบัติอื่นที่เกี่ยวข้องได้ วิธีการนี้สามารถวัดได้ทั้งแบบ large deformation หรือวิธีการวัดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างถาวร โดยโครงสร้างเกิดการเสียหาย และ small deformation หรือวิธีการวัดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเพียงเล็กน้อยโดยโครงสร้างไม่เกิดการเสียหายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นเส้นตรง อยู่ในช่วง linear viscoelastic region วิธีที่นิยมใช้ได้แก่ การทดสอบการคืบ (creep test) การทดสอบการพักความเค้น (relaxation test) และการทดสอบแบบสั่น (dynamic oscillatory test)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.1.2 สี (color)

สี (color) หมายถึง สีที่ปรากฏเมื่อคนเรามองวัตถุที่มีสี เช่น สีแดง สีเขียว สีน้ำเงินหรือสีเหลือง เป็นต้น อาหารที่มาจากพืชและสัตว์ ภายในเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ก็ให้สีต่าง ๆ กัน ซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากมีสารที่ให้สี เรียกว่า สารสี หรือรงควัตถุ (pigment) ซึ่งมีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เช่น สีเขียวของผักใบเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ หรือสีเหลือง สีส้ม และสีแดงเนื่องจากสีของแคโรทีนอยด์ เป็นต้น ดังนั้นสีของอาหารส่วนใหญ่จึงเป็นสารสีที่ได้มาจากธรรมชาติแต่มีอาหารบางชนิดมีการเติมสีสังเคราะห์ลงไปสีที่เติมลงไปนี้จัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่ง

การที่คนเรามองเห็นสีของอาหารเพราะในอาหารมีสารชนิดต่าง ๆ ที่มีความสามารถในการสะท้อนแสง หรือปล่อยพลังงานออกมาแตกต่างกัน เป็นความยาวคลื่นในช่วงที่กระตุ้นให้เรตินาที่อยู่ในตาของคนเรามองเห็น ช่วงคลื่นที่สามารถมองเห็นได้นี้ เรียกว่า visible light ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความไวของแต่ละบุคคล โดยปกติจะอยู่ในช่วง 380 - 770 นาโนเมตร ช่วงคลื่นนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)

1. ความสำคัญของสีอาหาร

สีเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของอาหาร ทั้งอาหารที่ได้จากธรรมชาติและอาหารที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพราะสีเป็นปัจจัยที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารร่วมกับลักษณะปรากฏอื่น ๆ และการยอมรับสีอาหารของผู้บริโภคจะแตกต่างกันตามฐานะทางเศรษฐกิจและสังคมที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนั้นสีของอาหารยังใช้ชี้บ่งถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่อาจเกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและการไหม้ของน้ำตาล หรือการเกิดคาราเมไลเซชัน คุณภาพของอาหารบางชนิดใช้บ่งชี้ด้วยสี เช่น สีของเนื้อสัตว์และเนื้อปลาแซลมอน สำหรับอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส เช่น น้ำมันพืชและเครื่องดื่มบางชนิดสีที่ละลายอยู่มีสมบัติยอมให้แสงผ่านได้ แต่อาหารชนิดที่สีขาวขุ่นหรือบางชนิดอาจทึบแสง เช่น สีของน้ำนม สีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสง (นิธิยา, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การวัดสีโดยใช้ระบบสี CIE (CIE Color System)

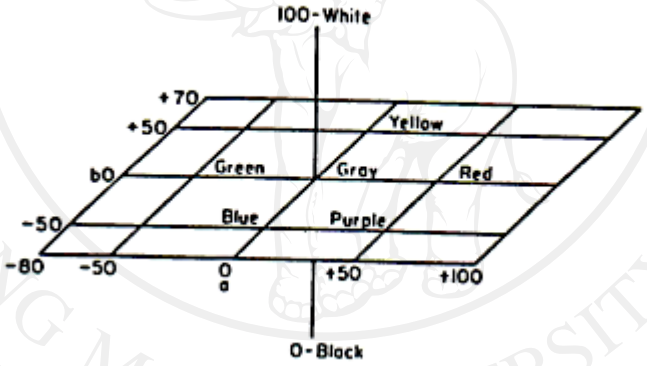
ระบบสี CIE ประกอบด้วยตัวแปรของสี 3 ตัวคือ L*, a* และ b* ซึ่งมีความหมายดังนี้

L* คือ ความสว่างของสีซึ่งมีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว

a* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดงที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง ค่าเป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง ค่าเป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

การแบ่งสเกลในระบบ CIE แสดงไว้ในรูป 2.3



รูป 2.3 ไดอะแกรมแสดงการจำแนกสเกลของตัวแปรในระบบสี CIE

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.2 คุณภาพทางเคมี

2.8.2.1 ความเป็นกรด–ด่าง (pH)

ในปี ค.ศ. 1909 Sorensen ได้กำหนดให้ค่า pH หมายถึง “the negative log of the hydrogen ion concentration” ซึ่งเป็นการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน หรือความเป็นกรด-ด่างของสารละลายนั้นๆ

pH มาจากคำว่า puissance d’ hydrogen หมายถึง power of hydrogen

$$\mathbf{pH = -\log_{10} a_{H+} = -\log m_{H+} \gamma_{H+}}$$

a_{H+} หมายถึง activity ของไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen ion activity)

γ_{H+} หมายถึง สัมประสิทธิ์ค่า activity (activity coefficient)

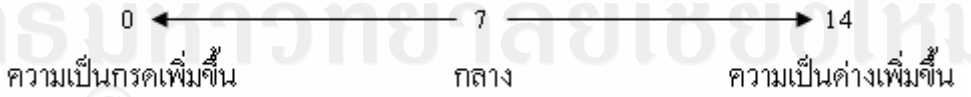
m_{H+} หมายถึง ความเข้มข้นของไฮโดรเจน ไอออน (morality; mol/l)

น้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C มี pH เท่ากับ 7

$$a_{H+} = 10^{-pH}$$

$$a_{H+} = 10^{-7}$$

สเกลของค่าความเป็นกรด-ด่างจึงถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 0 - 14 ที่ค่าความเป็น กรด-ด่าง เท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลาง (Bingman, 2008)



การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารนาน ๆ จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหารเปลี่ยนไป เนื่องมาจากจุลินทรีย์เจริญเติบโตมากจะปล่อยสารบางอย่างออกมา อาจเป็นกรดหรือด่าง จึงทำให้ pH เปลี่ยนแปลงไป และอาจไปขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (นงลักษณ์ และปรีชา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.2.2 วิตามิน

วิตามินเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์และจัดเป็นสารอาหารชนิดหนึ่งที่ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อย (เป็นมิลลิกรัมหรือไมโครกรัม) มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมีในเมแทบอลิซึมของสารอาหาร ร่างกายคนสังเคราะห์วิตามินไม่ได้ ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ดังนั้นปริมาณของวิตามินในอาหารต่าง ๆ ทั้งที่ได้จากธรรมชาติหรืออาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปจึงมีความสำคัญเพื่อจะได้เลือกบริโภคอาหารได้ถูกต้อง อาหารส่วนใหญ่จะมีวิตามินชนิดต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน

1) การจำแนกวิตามิน

วิตามินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค วิตามินในกลุ่มนี้จะเข้าสู่ร่างกายได้ต้องอาศัยไขมันเป็นตัวทำละลาย และร่างกายสามารถสะสมส่วนที่มากเกินพอไว้ได้ ดังนั้นการได้รับวิตามินกลุ่มนี้มากเกินไปจะทำให้เกิดพิษต่อร่างกายได้ โดยเฉพาะวิตามินเอจะเป็นอันตรายมาก

- วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามินบีหก วิตามินบีสิบสอง ไนอะซิน ไบโอติน กรดโฟลิก กรดแพนโททีนิก และวิตามินซี เป็นต้น วิตามินกลุ่มนี้ละลายได้ในน้ำจึงถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย และร่างกายไม่สามารถสะสมไว้ได้ หากได้รับมากเกินพอร่างกายจะขับออกทางปัสสาวะ ดังนั้นวิตามินในกลุ่มนี้จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเป็นประจำทุกวัน

วิตามินทั้งสองกลุ่มนี้จะมีอยู่ในอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน และจะผันแปรไปตามความคงตัวของวิตามินต่อกระบวนการแปรรูป และสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา การสูญเสียวิตามินสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การออกซิเดชัน หรือรวมตัวกับสารอื่นที่มีอยู่ในอาหาร ทำให้ได้สารใหม่ที่ไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ หรืออาจสูญเสียเนื่องจากการชะล้าง โดยเฉพาะวิตามินในกลุ่มที่ละลายได้ในน้ำจะสูญเสียได้ง่ายในขั้นตอนการล้าง การลวก และการหุงต้ม ซึ่งอาจมีผลทำให้ปริมาณวิตามินในอาหารน้อยลงได้ ดังนั้นการแปรรูปอาหารจะต้องเลือกใช้สภาวะที่ทำให้สูญเสียวิตามินน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) วิตามินซี

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส วิตามินซีอยู่ในรูป L-ascorbic acid จะมีคุณค่าทางชีวภาพ แต่ถ้าเป็น D-ascorbic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ หรือไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย วิตามินซีละลายได้ดีในน้ำ จึงถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย และกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย พบมากที่ต่อมอะดรีนาล และต่อมพิทูอิทารี ร่างกายต้องการวิตามินซีประมาณวันละ 50 มิลลิกรัม

วิตามินซี ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน และเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างโปรตีนคอลลาเจน ดังนั้นถ้าร่างกายได้รับวิตามินซีไม่เพียงพอจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจนผิดปกติมีผลต่อความแข็งแรงของหลอดเลือดต่าง ๆ ทั่วร่างกาย โดยเฉพาะเส้นเลือดฝอยจะเปราะและแตกได้ง่าย ดังนั้นเมื่อขาดวิตามินซีจึงเป็นเลือดออกตามไรฟัน ถ้าอาการรุนแรงจะเป็นโรค Scurvy

วิตามินซีพบมากในผักและผลไม้สด เช่น สตรอเบอร์รี่ เชอร์รี่ มะขามป้อม ฝรั่ง ส้ม มะนาว มันฝรั่ง และผักชนิดต่าง ๆ ผลไม้ส่วนใหญ่จะพบวิตามินซีที่เปลือกมากกว่าในเนื้อ เช่น เปลือกแอป-เปิ้ลมีวิตามินมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ 2-3 เท่า

การลวกผักโดยใช้น้ำร้อนจะมีการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าการใช้ไอน้ำ และการเก็บรักษาผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง ยิ่งอุณหภูมิต่ำจะมีการสูญเสียวิตามินซีน้อยลง นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นของผักและผลไม้ที่หั่นด้วย ตัวอย่างเช่น แครอทที่หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เมื่อผ่านการลวกแล้วจะสูญเสียวิตามินซี 32 - 50 % แต่เมื่อหั่นชิ้นใหญ่จะสูญเสียวิตามินซี 22 - 33 % การลวกกระหล่ำปลีจะสูญเสียวิตามินซีเพิ่มขึ้น 50 %

วิตามินซีมีประโยชน์อย่างมากในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น วิตามินซีถูกนำมาใช้เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ วิตามินซีในรูปอนุพันธ์ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปลา และใช้รักษาสภาพสีของเนื้อสัตว์ เป็นต้น

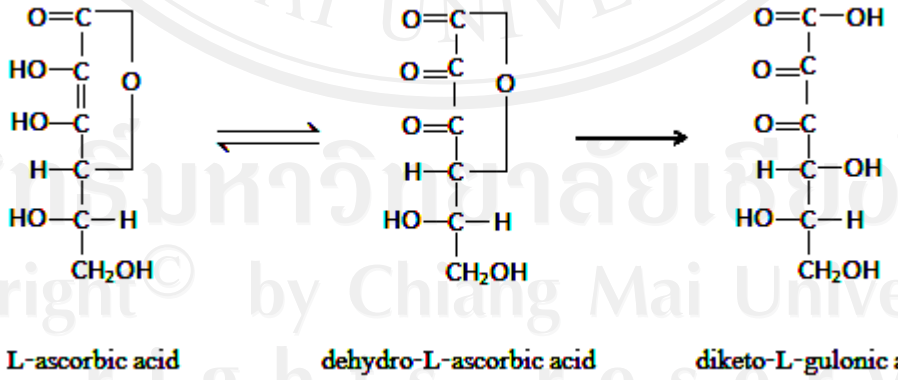
วิตามินซีจะถูกออกซิไดส์เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก หลังจากนั้นจะถูกไฮโดรไลส์ต่อเป็นกรด 2,3-ไดคีโตกูโลนิก และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดีไฮเดรชัน และพอลิเมอร์ไรเซชันต่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา คือ ค่า pH ความเข้มข้นของออกซิเจน และการมีโลหะเป็นตัวเร่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดแอสคอร์บิกช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ โดยการรีดิวส์ออร์โท-ควิโนน นอกจากนี้ยังมีบทบาทต่อการลดการทำงานของสารปรับสภาพโด (dough conditioner) ป้องกันไม่ให้สารอื่นถูกออกซิไดส์ โดยทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันกำจัดอนุมูลอิสระ และกำจัดออกซิเจน ยับยั้งการเกิดไนโตรซามีนในเนื้อหมัก (cured meat) กรดแอสคอร์บิกใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันทั้งในสารละลายที่เป็นน้ำและเป็นอิมัลชัน หากมีน้ำมันมากต้องใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับวิตามินอี เช่น ใช้แอลฟา-โทโคเฟอรอลร่วมกับแอสคอร์บิลปาล์มิเตตจะให้ผลดีในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เพราะแอสคอร์บิลปาล์มิเตตจะเสริมฤทธิ์กับแอลฟา-โทโคเฟอรอลและสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ (phenolic antioxidant) (นิธิยา, 2549)

3) ปฏิกิริยาการสลายตัวของวิตามินซี

3.1 การสลายตัวในสภาพที่มีออกซิเจน (oxidative degradation) ในกระบวนการผลิตอาหารมีการสูญเสียวิตามินซีได้ง่าย โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันมีออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ เมื่อวิตามินซีที่อยู่ในรูป L-ascorbic acid เมื่อถูกออกซิไดส์จะเปลี่ยนเป็น dehydro-L-ascorbic acid ปฏิกิริยานี้เปลี่ยนกลับไปมาได้ แต่ถ้า dehydro-L-ascorbic acid ถูกออกซิไดส์ต่อเป็น diketo-L-gulonic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ



รูป 2.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก
ที่มา: นิธิยา (2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อีกหลายชนิดที่เร่งการสลายตัวของวิตามินซีได้ เช่น กรดแอสคอร์บิกออกซิเดส (ascorbic acid oxidase) ฟีนอลเลส ไซโทโครมออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดส เอนไซม์กรดแอสคอร์บิกออกซิเดสเร่งการสลายตัวของวิตามินซีโดยตรงแต่เอนไซม์ 3 ชนิดหลังเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของวิตามินซีทางอ้อม เช่น เอนไซม์ไซโทโครมออกซิเดสจะออกซิไดส์ไซโทโครมรูปรีดิวซ์ (reduce form) เป็นไซโทโครมรูปออกซิไดส์ (oxidized form) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับวิตามินซีได้ หรือเอนไซม์ฟีนอลเลสจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมโนและไดไฮดรอกซีฟีนอลเป็นควิโนน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับวิตามินซีทำให้ปริมาณวิตามินซีลดน้อยลงได้

อย่างไรก็ตาม เอนไซม์เหล่านี้พบมากในผักและผลไม้สด ซึ่งจะเร่งการสลายตัวของวิตามินซีในผักและผลไม้สดได้เมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้สดเกิดการเสียหายเนื่องจากการปอก หั่น หรือเกิดรอยช้ำ ในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้จะมีการทำลายเอนไซม์เหล่านี้โดยใช้ความร้อน ซึ่งทำได้โดยการลวกผักและผลไม้ในน้ำร้อน หรืออบไอน้ำในระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนการทำผักและผลไม้อบแห้ง หรือการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจำเป็นต้องลวกผักและผลไม้ก่อนนำไปอบแห้งหรือแช่เยือกแข็งเสมอ สำหรับน้ำผลไม้การทำพาสเจอไรเซชัน หรือการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำชั่วระยะเวลาหนึ่ง จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ (นิธิยา, 2549)

3.2 การสลายตัวในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (nonoxidative degradation) ปฏิกิริยานี้จะเกิดช้าและสามารถเร่งให้เกิดเร็วขึ้น เมื่ออยู่ใน pH ต่ำ โดยเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน และไฮโดรไลซีสต่อไปจะได้สาร furfural และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสาร furfural จะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจะได้สารสีเหลืองขึ้นมา การสลายตัวโดยไม่ใช้ออกซิเจนเกิดในภาวะที่มีความเป็นกรดสูงและมีสารอื่น ๆ อยู่ด้วย เช่น น้ำตาลฟรุกโตส และอนุพันธ์ของกรดอะมิโน โดยกลไกนี้ก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลและเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ของอนุพันธ์ของสารคาร์บอนิล

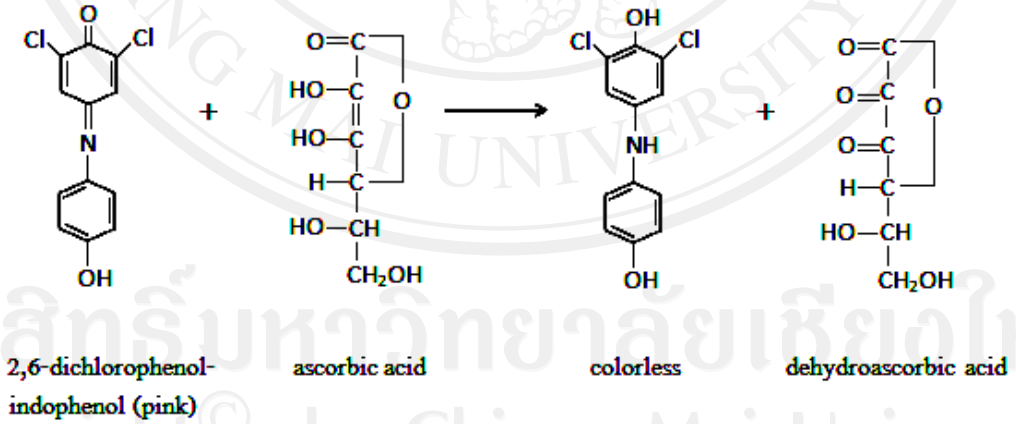
3.3 Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของอาหารระหว่างกรดดีไฮโดร-แอสคอร์บิก และกรดอะมิโน ที่เข้าไปในกระบวนการเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่การเกิดสีน้ำตาลในอาหารอาจเกิดจากกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีสารประกอบของอะมิโนก็ได้ ปฏิกิริยาเริ่มต้นของ Strecker degradation เกิดจากผลิตภัณฑ์ เริ่มต้น 2 ลักษณะ คือ เกิดจาก α-amino acid และ dehydro-L-ascorbic acid ให้ผลิตภัณฑ์ขั้นต้นเป็น intermediate compound เพื่อเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ไรเซชันต่อไป และอีกลักษณะหนึ่งของปฏิกิริยาเริ่มต้นของ Strecker degradation เกิดจาก Schiff base ของ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF หรือ furfural ถูกไฮโดรไลส์ได้อัลดีไฮด์และกรด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอสคอร์บามิก (ascorbamic acid) ซึ่งจะเกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ต้องการ อาหารที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ได้แก่ น้ำส้ม น้ำมะนาว และอาหารอบแห้ง

3.4 การสลายตัวเนื่องจากการเร่งด้วยโลหะหนักบางชนิด (Reaction with metal ions) กรดแอสคอร์บิกสามารถถูกออกซิไดส์ได้โดยโมเลกุลของโลหะบางชนิด ได้แก่ Cu^{2+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดย Cu^{2+} จะเป็นตัวกลางในการเชื่อมโมเลกุลของกรดแอสคอร์บิกกับโมเลกุลของออกซิเจน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอะตอมของไฮโดรเจนบริเวณที่จับกับ Cu^{2+} จะหลุดออกมาได้ dehydroascorbic acid, Cu^{2+}, H_2O_2 นอกจาก Cu^{2+} แล้วยังมีโมเลกุลของโลหะหนักอย่างอื่น ได้แก่ Fe^{3+} และ Ag^{+} ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกได้ โดย Fe^{3+} จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนกรดแอสคอร์บิกเป็น dehydroascorbic acid (สุนทรี และอรุณี, 2550)

การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีทำได้โดย 2,6-dichlorophenolindophenol เนื่องจากวิตามินซีมีคุณสมบัติเป็น reducing agent สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบ 2,6-dichlorophenolindophenol เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี (ลักขณา และนิธิยา, 2533) มีปฏิกิริยาดังรูป 2.5



รูป 2.5 ปฏิกิริยาระหว่าง 2,6-dichloroindophenol กับวิตามินซี
ที่มา: ลักขณา และนิธิยา (2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

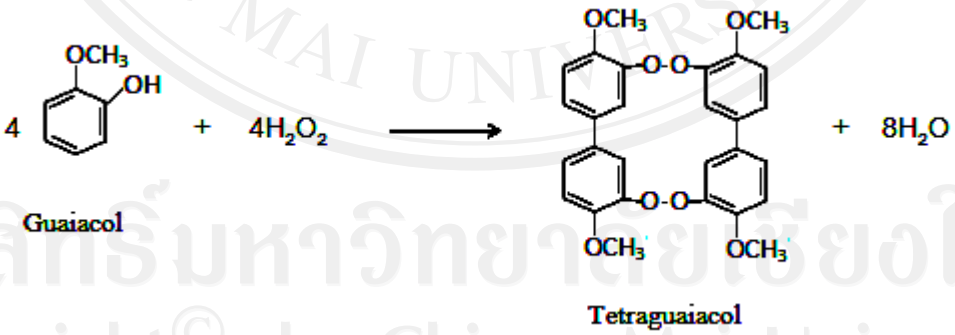
2.8.2.3 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase: POD)

เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบ คือ doner: hydrogen-peroxide oxidoreductase: EC 1.11.1.7 จัดเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกลุ่มของเอนไซม์ออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductase) เป็นเอนไซม์ที่มีธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของโมเลกุล สามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เอนไซม์นี้สามารถกระตุ้นให้กลับทำงานได้อีก (reactivate) ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งส่งผลให้ผลไม้มีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติและกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสยังเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของผลไม้ กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสามารถเป็นตัวชี้บ่งการสุกและการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้ มีปฏิกิริยาหลัก คือ Peroxidatic reaction (ปราณี, 2543) ดังนี้

$$H_2O_2 + 2\ AH_2 \text{ ------> } 2H_2O + HAAH \text{ (polymerized product)}$$

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาหลักของเปอร์ออกซิเดสใน in vitro ที่มีสารเริ่มต้น(substrate) เป็นสารประกอบฟีนอล (A) เช่น p-cresol, guaiacol, resorcinol และ aniline เป็นต้น

ตัวอย่างของปฏิกิริยาการออกซิไดส์สาร guaiacol ซึ่งเป็นตัวให้ไฮโดรเจนในขณะที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อสารทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จะได้ผลิตภัณฑ์คือ tetraguaiacol ซึ่งมีสีน้ำตาล ดังรูปที่ 2.6



รูป 2.6 ปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารกัวอะคอลของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

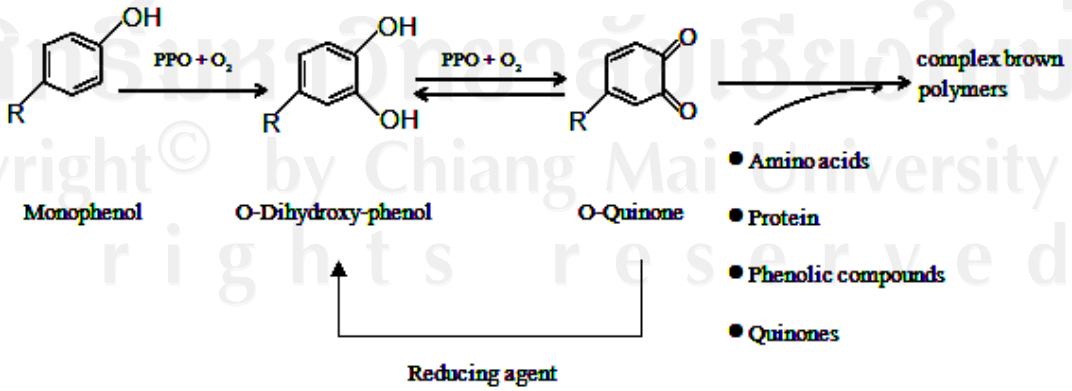
ที่มา: ปราณี (2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.2.4 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase: PPO)

เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบ คือ o-diphenol oxygen oxidoreductase: EC 1.10.3.1 เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่มีโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ และมีชื่อสามัญต่างๆ กัน เช่น ไทโรซินเนส (tryrosinase), โพลีฟีนอลเลส (polyphenolase), ฟีนอลเลส (phenolase), แคทีคอล ออกซิเดส (catechol oxidase), ครีโซเลส (cresolase) และแคทีคอลเลส (catecholase) เป็นต้น (ปราณี, 2543) เป็นเอนไซม์ที่มีโลหะทองแดงเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของโมเลกุล (Martinez and Whitaker, 1995)

โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase: PPO) ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อผลไม้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) โดยสารประกอบโมโนฟีนอล (monophenolic) จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ในภาวะที่มีออกซิเจนได้เป็น ออร์โท-ไดฟีนอล (o-diphenol) และจะถูกออกซิไดส์ต่อได้เป็นออร์โท-ควิโนน (o-quinone) ซึ่งออร์โท-ควิโนนจะมีความไวในการเกิดการรวมเป็นโมเลกุล (polymerization) กับสารต่าง ๆ ได้เป็นสารโพลีเมอร์ที่มีสีน้ำตาลและมีโครงสร้างซับซ้อน แสดงดังรูปที่ 2.7 ส่วนสารประกอบฟีนอลที่ถูกออกซิไดส์โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ได้แก่ แคแทชิน (catechins), เอสเทอร์ของกรดซินนามิก (cinnaic acid esters), 3,4-ไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-hydroxyphenylalanine: DOPA) และไทโรซีน (tyrosine) ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส อยู่ในช่วง 5 - 7 เอนไซม์นี้ไม่คงตัวถูกทำลายได้โดยความร้อนและถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแอไลด์ กรดฟีนอลิก ซัลไฟต์ คีเลติงเอเจนต์ (chelating agents) และรีดิวซิงเอเจนต์ (นิธิยา, 2549)



รูป 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

ที่มา: Mcevily *et al*. (1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์ PPO ในลำไยจะมีความคงตัวที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0 และความคงตัวของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 - 7.0 โดยความคงตัวจะลดลงเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0 - 8.0 อุณหภูมิที่ทำให้เอนไซม์มีความคงตัวมากที่สุด คือ 35 ^{o}C และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 50 ^{o}C จะใช้เวลาน้อยกว่า 20 นาทีที่จะทำให้เอนไซม์สูญเสียความสามารถถึง 50 % ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ PPO ในลำไย คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5 และอุณหภูมิ 35 ^{o}C (Yue-Ming, 1999)

วิธียับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์

1) การลวก เนื่องจากเอนไซม์ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ดังนั้นการลวกจึงสามารถทำลายเอนไซม์ได้ แต่วิธีนี้ไม่นิยมนำมาใช้กับผลไม้ที่จะนำมาบริโภคในสภาพสด เพราะมีผลทำให้เนื้อเยื่อผลไม้มีลักษณะนิ่มลง วิธีนี้เหมาะสำหรับผลไม้ที่ต้องการนำไปแปรรูป ตัวอย่างเช่น ลวกเนื้อมะม่วงสุกโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 ^{o}C เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ 50 % และสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้มากกว่า 90 % เมื่อเพิ่มเวลาการลวกเป็น 5 นาที (Arogba, 2000) การให้ความร้อนแก่ถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 121 ^{o}C เป็นเวลา 6 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้และที่อุณหภูมิ 130 ^{o}C เป็นเวลา 36 วินาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ 6 % และการให้ความร้อนแก่เนื้อมะม่วงสุกฝานครึ่งผลที่อุณหภูมิ 85 - 90 ^{o}C เป็นเวลานาน 90 วินาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้มากกว่า 50 % (รุจิภรณ์, 2546)

2) การแช่ในน้ำเชื่อมหรือน้ำตาล น้ำเชื่อมหรือน้ำตาลสามารถใช้เป็นตัวป้องกันไม่ให้ก๊าซออกซิเจนแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลได้ นอกจากนี้น้ำเชื่อมยังมีผลต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของผลไม้แช่เยือกแข็ง เพราะน้ำตาลจะทำให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มขึ้น รักษาการเปลี่ยนแปลงของรสชาติและทำให้เนื้อสัมผัสแน่นขึ้น เช่น การเติมน้ำตาลทรายลงในสตรอเบอร์รี่ก่อนการแช่เยือกแข็ง แล้วเก็บรักษาที่ -15 ^{o}C พบว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้

3) การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมกับกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสอยู่ระหว่าง 5 - 7 ดังนั้นการปรับค่า pH โดยการใช้กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดฟูมาริกเท่ากับ 4 หรือต่ำกว่า ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ จึงสามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้และผลไม้ชนิดต่าง ๆ ได้ (Martinez and Whitaker, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) สารประกอบซัลไฟต์ มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล สารประกอบซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมหรือโพแทสเซียมไบซัลไฟต์ และเมตาไบซัลไฟต์ สารเหล่านี้สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งจากเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ ควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นสารฟอกสี และเป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (Saper and Hicks, 1989) โดยสารเหล่านี้จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส อย่างไรก็ตาม FDA (Food and Drug Administration) รายงานว่าการบริโภคอาหารที่มีสารประกอบซัลไฟต์จะก่อให้เกิดการแพ้อย่างรุนแรง จึงได้จำกัดการใช้ซัลไฟต์ในผักและผลไม้ โดยต้องปิดฉลากบอกปริมาณสารประกอบซัลไฟต์ที่มีอยู่หากมีปริมาณมากกว่า 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ขึ้นไป

5) กรดแอสคอร์บิก เป็นสารที่นำมาใช้แทนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุดไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ราคาไม่แพงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการรีดิวซ์สาร ควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลได้

6) กรดซิตริก เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีราคาแพง จึงมีการนำกรดชนิดอื่นมาทดแทน เช่น กรดซิตริกเป็นกรดที่พบได้ในผลไม้ทั่วไป ใช้เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยกรดซิตริกทำหน้าที่เป็นคีเลติงเอเจนต์ (chelating agent) ในการจับกับโลหะทองแดงซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และลดค่าความเป็นกรด-ด่าง ทำให้ไม่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ซึ่งมีผลทำให้เอนไซม์ทำงานได้ช้าลง (Martinez and Whitaker, 1995)

7) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เป็นสารที่นำมาใช้กับผักและผลไม้โดยจะจับกับเพกตินทำให้โครงสร้างเนื้อเยื่อภายในแน่น ทำให้มีเนื้อสัมผัสดีขึ้น และใช้ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ส่วนใหญ่นิยมใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นระหว่าง 0.5 - 2.0 %

8) สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอื่นๆ เช่น สารประกอบอนินทรีย์จำพวกเฮไลด์สามารถยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ เช่น โซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก (PMP Fermentation Products, 2008) มีการใช้ Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ยับยั้งการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก และลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในน้ำองุ่น (Kanner and Shapira, 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

2.8.3.1 การเน่าเสียของอาหารเกิดจากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก พบกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ อาหารและอุปกรณ์สำหรับใช้ประกอบอาหาร รวมทั้งตามมือและทางเดินอาหารของคนและสัตว์ จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรมอาหาร เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและเน่าเสีย หรือเกิดโรคอาหารเป็นพิษระบาด อาหารส่วนใหญ่ในแต่ละฤดูกาลมีมากเกินกว่าจะบริโภคให้หมดได้ มีการเน่าเสียเกิดขึ้นจนกระทั่งต้องทิ้งไป ก่อให้เกิดการสูญเสียด้านเศรษฐกิจมากมาย อาหารสดที่ได้จากพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสัตว์ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากถูกฆ่า จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารต้องการพลังงาน เริ่มด้วยการใช้เอนไซม์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเซลล์ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอาหาร จากนั้นจึงนำสารต่าง ๆ ที่ย่อยสลายแล้วไปใช้เพื่อการอยู่รอด การเจริญ และการขยายพันธุ์ต่อไป อาหารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายจะมีการเสื่อมคุณภาพ มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น อาหารประเภทโปรตีน ได้แก่ กุ้ง ปลา และเนื้อสัตว์ จะมีกลิ่นเหม็น ส่วนอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบสำคัญจะมีกลิ่นหมักและรสเปรี้ยวเกิดขึ้น ปัจจุบันนี้ประเทศเราต้องการเก็บรักษาอาหารให้ได้นานเพื่อการส่งออก อุตสาหกรรมอาหารกำลังก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วและทำรายได้ให้แก่ประเทศชาติเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ จึงควรหาวิธีป้องกันไม่ให้ผลิตผลทางเกษตรเกิดการเน่าเสียก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการแปรรูป

2.8.3.2 จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย

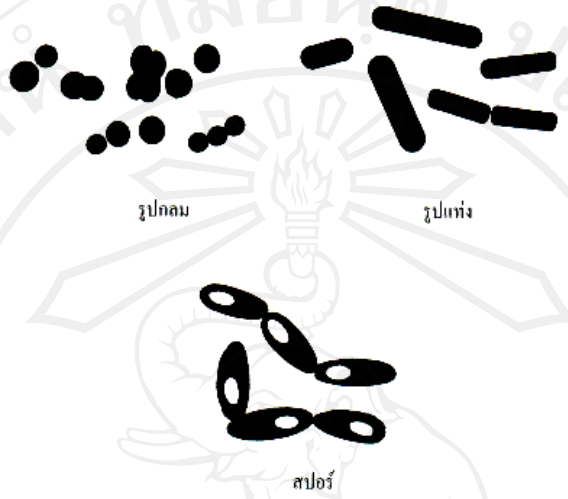
จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้อาหารเสียมี 3 ประเภทได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา

แบคทีเรีย

เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก หน่วยที่ใช้วัดขนาดของแบคทีเรีย คือ ไมโครเมตร (μm) หรือไมครอน 1ไมครอนมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนใน 1,000 มิลลิเมตร แบคทีเรียโดยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับอาหารมีขนาด 0.5 - 2.0 × 2.0 - 10 ไมครอน ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมองเห็นแบคทีเรียมีรูปร่างต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.8 เช่น รูปทรงกระบอก เป็นแท่ง รูปกลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งอาจวางตัวเกาะเรียงกันเป็นสายหรือเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่นและบางชนิดมีรูปร่างเป็นเกลียว เป็นต้น



รูป 2.8 แบคทีเรียรูปกลม รูปแท่ง และสปอร์
ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

แบคทีเรียโดยทั่วไปในสภาพที่กำลังเจริญซึ่งสามารถย่อยอาหารได้ดีในสภาพพักตัวหรือเรียกว่า ระยะสปอร์ซึ่งเป็นสภาพที่ยากแก่การทำลาย เซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกทำลายโดยการพาสเจอไรซ์หรือที่อุณหภูมิน้ำเดือด แต่ในสภาพสปอร์สามารถทนต่อการต้มที่ 100 ^{o}C ได้เป็นเวลานานถึง 6 ชั่วโมง แบคทีเรียมีทั้งชนิดที่สร้างสปอร์และไม่สร้างสปอร์ ชนิดที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต แบคทีเรียเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวตามขวางอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม แบคทีเรียเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าทุก ๆ 30 นาที คือแบคทีเรียเพิ่มจำนวนจาก 1 เซลล์เป็น 2 เซลล์ ดังนั้นอาหารที่มีแบคทีเรียปนเปื้อนเพียง 1 เซลล์ภายในเวลา 10 ชั่วโมงเท่านั้นจะมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าหนึ่งล้านเซลล์ ดังตารางที่ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 การเพิ่มจำนวนแบคทีเรียตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเซลล์
0	1
1	4
2	16
3	64
4	256
5	1,024
6	4,096
7	16,384
8	65,538
9	262,144
10	1,048,576

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

ตัวอย่างแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้แก่ *Pseudomonas, Acinetobacter, Moraxella, Alcaligenes* และ *Flavobacterium*

เอนไซม์บางชนิดของแบคทีเรียเช่น โปรตีเอส (protease) จะย่อยโมเลกุลของโปรตีนให้สลายตัวเป็นสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งมีกลิ่นเหม็นเช่น แอมโมเนีย แอมีน (amine) ฟีนอล (phenol) อินโดล (indole) เมอแคพเทน (mercaptan) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่วนรสเปรี้ยวของอาหารและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่มักเกิดจากการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตของแบคทีเรียและสลายให้กรดต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ส่วนใหญ่ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อที่ปลายของเซลล์ เมื่อโตเต็มที่จะหลุดออกจากเซลล์แม่ทันทีหรืออาจแตกหน่อต่อไปได้อีก ยีสต์ที่พบมากได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* รูปที่ 2.9

ยีสต์เจริญได้ดีในอาหารทีมีปริมาณน้ำตาลมากเช่น น้ำผลไม้ และชอบอาหารที่มีรสเปรี้ยว จึงทนต่ออาหารที่มีกรดได้ดีกว่าแบคทีเรีย สปอร์ของยีสต์ไม่ทนต่อความร้อน อุณหภูมิเพียง 77 ^{o}C เท่านั้นก็สามารถทำลายสปอร์ของยีสต์ได้ เป็นคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกับสปอร์ของแบคทีเรียซึ่งทนความร้อนได้ดีมาก

รูป 2.9 เซลล์แม่และหน่อของ *Saccharomyces cerevisiae*
ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

อาหารที่เกิดการเน่าเสียจากยีสต์มักมีกลิ่นหมัก มีเมือกและฝ้าเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้า สำหรับเครื่องดื่มจะขุ่นและมีฟองก๊าซเกิดขึ้น ยีสต์มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถใช้เอนไซม์ย่อยกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการถนอมอาหารเช่น กรดแล็กติก กรดซิตริก และแอซีติกได้ เมื่อยีสต์ใช้กรดต่าง ๆ ดังกล่าว กรดจะมีความเข้มข้นลดลงเป็นผลให้อาหารมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียชนิดที่เป็นสาเหตุของอาหารเน่าเสียได้

อาหารที่เกิดการเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียจากยีสต์ส่วนใหญ่ได้แก่ อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลมาก เช่น แยม น้ำเชื่อม และผลไม้แห้ง ซึ่งเกิดจาก *Saccharomyces rouxii* และ *Shizosaccharomyces octosporus* นอกจากนี้อาหารที่มีปริมาณเกลือมาก เช่น ผักดอง แฮม เบคอน และเนื้อเค็มมักเกิดการเสื่อมคุณภาพจากยีสต์ได้เช่นกัน ส่วนมากเกิดจาก *Hansenula*, *Saccharomyces* และ *Torelopsis*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อรา

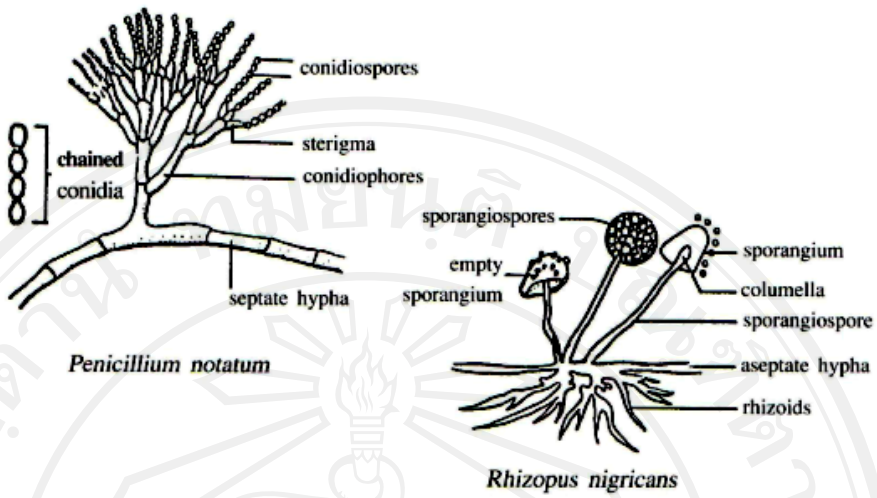
เชื้อราเป็นจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งที่ผู้ประกอบการอาหารและผู้บริโภครู้จักดี พบอยู่ทั่วไปมีรูปร่างลักษณะสีต่าง ๆ กัน มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เซลล์ของเชื้อรามีรูปร่างติดต่อกันเป็นเส้นใยและสร้างสปอร์ที่ปลายของเส้นใยทำหน้าที่สำหรับขยายพันธุ์ สปอร์มีหลายสีเช่น เหลือง เขียว น้ำตาล และดำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อรา ตัวอย่างเชื้อราที่เป็นสาเหตุของอาหารเน่าเสียได้แก่ เพนนิซิล-เลียม (*Penicillium*) แอสเพอร์จิลลัส (*Aspergillus*) และไรโซพัส (*Rhizopus*) ดังรูปที่ 2.10

โดยทั่วไปเชื้อราเจริญได้ช้ากว่ายีสต์และแบคทีเรีย ดังนั้นอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเน่าเสีย ในระยะแรกเชื้อราเจริญได้ช้า แต่หลังจากที่เชื้อราผ่านช่วงแรกไปแล้วก็จะเจริญต่อไปได้อย่างรวดเร็ว ดังที่เห็นได้จากอาหารที่มีเชื้อราปนเปื้อนอยู่เพียงเล็กน้อย หลังจากทิ้งไว้เพียงหนึ่งหรือสองวันจะเห็นเชื้อราขึ้นเติมไปหมด เชื้อราเป็นปัญหาในอุตสาหกรรมอาหารมาก เนื่องจากสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี เช่น ในอาหารที่มีความชื้นเพียงเล็กน้อยหรือในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกรด เชื้อราก็สามารถเจริญและทำให้อาหารเสียได้

การเน่าเสียของผักและผลไม้ส่วนใหญ่มักเริ่มจากเชื้อราเข้าไปย่อยแป้งและน้ำตาล เอนไซม์ต่าง ๆ จากเชื้อรา เช่น ทรานเซลิมิเนส (transeliminase) และเอสเทอเรส (esterase) ไปทำลายเนื้อเยื่อของพืช เซลลูเลส (cellulase) มีหน้าที่ย่อยผนังเซลล์ของผักและผลไม้ ส่วนโปรตีเอส (protease) แอมิเลส (amylase) และเอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งย่อยคาร์โบไฮเดรตจะทำหน้าที่ทำลายโพรโทพลาสซึมได้ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่วัน เชื้อราก็สามารถทำลายโครงสร้างของผักและผลไม้ได้เกือบหมด การเจริญของเชื้อราในผักและผลไม้โดยทั่วไปจะทำให้เนื้อเยื่อของพืชแตกสลายและเกิดการเน่าเสีย นอกจากเชื้อราเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ผักและผลไม้เน่าแล้ว เชื้อรายังเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ขนมปังและผลิตภัณฑ์เบเกอรีเสื่อมคุณภาพ ผลิตภัณฑ์เบเกอรีมีกลิ่นอับ มีกลิ่นเชื้อรา และสามารถมองเห็นโคโลนีของเชื้อราได้ชัดเจน เชื้อราชนิดที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้อาหารต่าง ๆ เกิดการเน่าเสีย ได้แก่ *Aspergillus, Penicillium, Rhizopus, Cladosporium, Furasium* และ *Mucor* ส่วนการเสียของอาหารทุกชนิดมักเกิดจากเชื้อราชนิดที่ทนต่อสภาพความแห้งได้ดี คือ *Xeromyces biosporus* ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในวงการอุตสาหกรรมอาหารมากมาย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

\

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.10 เชื้อราชนิดต่าง ๆ ที่พบในอาหาร
ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

2.8.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

2.8.4.1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น กลิ่น สี รส เนื้อสัมผัส ของอาหาร สามารถทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ได้โดยการใช้คนซึ่งมีประสาทสัมผัสทั้งห้าในการบอกคุณภาพของอาหาร การใช้ประสาทสัมผัสนี้อาจใช้พร้อม ๆ กัน หรืออย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่ลักษณะคุณภาพที่ต้องการทราบ ความรู้สึกจากการสัมผัสด้วยมือหรือภายในช่องปาก การดมกลิ่น การเคี้ยว การได้ยิน มีความสำคัญในการบอกคุณภาพของอาหาร คือ

1. ใช้บอกลักษณะคุณภาพของอาหารที่เครื่องมือบอกไม่ได้ หรือต้องใช้เครื่องมือยุ่งยาก
2. ใช้บอกความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่ออาหารนั้น
3. ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับของผู้บริโภค กับค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องมือเพื่อใช้เครื่องมือในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในโอกาสต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

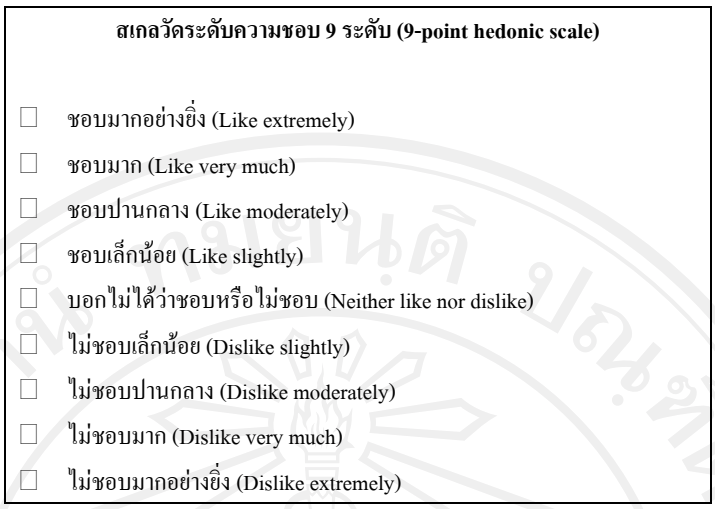
2.8.4.2 ผู้ประเมิน

การประเมินคุณภาพจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ ลักษณะการใช้แทนเครื่องมือ เป็นการหาระดับความเข้มของคุณลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น หวานมาก-หวานน้อย กลิ่นแรงมาก-กลิ่นแรงน้อย และลักษณะการใช้แทนความรู้สึกของผู้บริโภคว่าชอบหรือไม่ชอบอาหารนี้ชอบมากแค่ไหน ลักษณะการใช้ที่แตกต่างกันทำให้ต้องใช้ผู้ประเมินต่างกันและแบบสอบถามต่างกัน ผู้ชิมแบบแรกจะต้องมีการฝึกฝนมาก่อนมีความสามารถในการบอกความแตกต่างของคุณลักษณะต่าง ๆ ได้และภายในกลุ่มผู้ประเมินมีความเข้าใจในเรื่องของกลิ่นรสและระดับของความเข้มเป็นอย่างเดียวกัน จำนวนผู้ประเมินอาจมีตั้งแต่ 1 คนขึ้นไป ส่วนผู้ประเมินกลุ่มหลังเป็นตัวแทนผู้บริโภค จึงเป็นกลุ่มที่ไม่ต้องมีการฝึกฝนมาก่อนและต้องมีจำนวนมาก และมีคุณสมบัติตรงกับกลุ่มผู้บริโภคจริง ๆ ข้อมูลที่ได้จึงน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามผู้ประเมินไม่ว่าจะเป็นการประเมินในลักษณะไหนควรมีคุณสมบัติพื้นฐานคือ มีความเต็มใจในการประเมิน ไม่รังเกียจอาหารที่ชิม กล้าแสดงความคิดและไม่ใช่ผู้เตรียมอาหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

2.8.4.3 การทดสอบการยอมรับแบบสเกลวัดระดับความชอบ 9 ระดับ

วิธีการทดสอบการยอมรับที่นิยมมากที่สุด คือ สเกลวัดระดับความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Jone *et al*.(1955) และถูกพัฒนาต่อมาโดย Peryam and Pilgrim (1957) เป็นสเกลที่มีลักษณะเป็นสองขั้ว มีจุดกึ่งกลางอยู่ตรงกลาง และมีข้อความอธิบายลักษณะของแต่ละจุดหรือช่วงของสเกลดังรูปที่ 2.11 ซึ่งคนทั่วไปสามารถทำความเข้าใจและใช้ได้ง่าย และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการคำนวณค่าที (t-test) หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งจะนำไปสู่การแสดงความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ถูกทดสอบได้ อย่างไรก็ตามสเกลวัดระดับความชอบ 9 ระดับ ยังคงถือเป็นสเกลแบบกลุ่ม (Category scale) ซึ่งระยะห่างระหว่างจุดหรือช่วงของสเกลไม่เท่ากันและผู้ทดสอบส่วนใหญ่จะหลีกเลี่ยงการใช้จุดหรือช่วงบริเวณหัวและท้ายสเกล ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการใช้สเกลมีช่วงที่แคบลง นักวิจัยบางกลุ่มจึงเลือกใช้สเกลเส้นตรงแบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured line scale) หรือการประมาณ (Magnitude estimation) ในการประเมินความชอบแทนสเกลวัดระดับความชอบ 9 ระดับ (วิวัฒน์, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.11 สเกลวัดระดับความชอบ 9 ระดับ
ที่มา: วิวัฒน์ (2548)

2.9 กระบวนการความดันสูงยิ่ง (Ultra-High Pressure processing)

กระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งในการแปรรูปและถนอมอาหารนั้น จะต้องใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์หลายแขนงมาประกอบกัน ซึ่งรวมทั้งด้านเคมี จุลินทรีย์ และทางด้านวิศวกรรม เพื่อทำให้สามารถนำวิธีการนี้มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้อาหารมีความปลอดภัย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดและได้ผลดี โดยมีการผลิตและจำหน่ายทางการค้า ได้แก่ อาหารประเภทเป็นกรด เช่น แยม เครื่องดื่มน้ำผลไม้ และโยเกิร์ต เป็นต้น แม้ว่ากระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งนั้นจะต้องใช้งบประมาณตั้งต้นในการลงทุนค่อนข้างสูง แต่พบว่าให้ผลตอบแทนสูงในระยะยาวเนื่องจากเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการนี้มีความสดใกล้เคียงกับธรรมชาติ (Ledward *et al*., 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.1 หลักการ

ความดันเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญของปฏิกิริยาทางเทอร์โมไดนามิกและมีผลต่อโครงสร้างและกระบวนการทางชีวเคมี ความดันที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมี และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเป็นไปตามกฎของ Le Chatalier ที่กล่าวว่าภายใต้สภาวะที่สมดุลเมื่อให้ความดัน

แก่ระบบจะทำให้ปริมาตรลดลงและจะเกิดขึ้นในทางกลับกัน นอกจากนั้นการที่ความดันเกิดขึ้นโดยทันทีและสม่ำเสมอโดยจะเกิดทั่วถึงเท่ากันทุกจุด ในทางปฏิบัติจะเห็นว่าการให้ความดันสูงยิ่งแก่อาหารจะไม่มีส่วนใดของอาหารหลีกเลี่ยงความดันสูงยิ่งได้ กระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งไม่ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างและองค์ประกอบของอาหาร (Farkas and Hoover, 2000) เป็นผลให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารลดลง (Zimmermann and Bergman, 1993)

2.9.2 ผลของความดันสูงยิ่งต่อจุลินทรีย์

ความดันสูงยิ่งสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ โดยทั่วไปแบคทีเรียที่อยู่ในระยะ log phase จะทนต่อความดันสูงยิ่งได้น้อยกว่าเซลล์ที่อยู่ในระยะ stationary สปอร์และจุลินทรีย์ที่อยู่ในระยะ death phase อย่างไรก็ตามความดันสูงขนาดปานกลางระหว่าง 300 - 600 MPa จะสามารถยับยั้งการเจริญหรือทำลายเซลล์ปกติได้ (vegetative cells) นอกจากนั้นยังมีการรายงานว่าการใช้ความดัน 350 MPa เป็นเวลา 30 นาทีหรือ 400 MPa เป็นเวลา 5 นาที จะสามารถลดปริมาณเซลล์ปกติของแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราได้ถึง 10 เท่า การใช้ความดันที่ระดับสูงมากจะทำให้สปอร์ของแบคทีเรียงอก และทำลายเซลล์ที่งอกแล้วนี้ เป็นที่รู้กันว่าความดันสูงยิ่งทำให้แวคคิวโอล ภายในเซลล์แตก ทำลายผนังเซลล์ และเซลล์เมมเบรน (Hoover *et al*., 1989) และยังได้มีการสันนิษฐานว่าอาจเกิดจากการที่ความดันสูงยิ่งมีผลต่อเอนไซม์ภายในเซลล์เป็นผลให้เมตาบอลิซึมต่าง ๆ ถูกทำลาย (Knorr, 1993)

2.9.3 ผลของความดันสูงยิ่งต่อกิจกรรมของเอนไซม์

ความดันสูงยิ่งสามารถทำลายหรือยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ มีรายงานผลของการเพิ่มความดันสูงยิ่งต่อ succinate formate และ malate dehydrogenase ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้ลดลง เมื่อให้ความดันสูงถึง 100 MPa เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องสามารถทำลายเอนไซม์นี้ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งได้มีการรายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความดันสูงยิ่งได้แก่ค่า pH ความเข้มข้นของสารตั้งต้น หน่วยย่อยของโครงสร้างเอนไซม์ และอุณหภูมิขณะให้ความดันสูงยิ่ง อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าเอนไซม์บางชนิดสามารถคืนกิจกรรมหลังจากที่หยุดให้ความดันสูงยิ่ง เช่น เอนไซม์ lactate dehydrogenese ใน *Bacillus stearothermophilus* ซึ่งเกิดการแยกของไดเมอร์ขณะได้รับความดันสูงยิ่งแล้วจะรวมตัวกันใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อหยุดให้ความดันสูงยิ่ง พบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของเอนไซม์ที่คืนกิจกรรมนี้ไม่แตกต่างจากเอนไซม์ที่ไม่ผ่านการให้ความดันสูงยิ่ง (Hoover *et al*., 1989)

2.9.4 ผลของความดันสูงยิ่งต่อปฏิกิริยาชีวเคมี

ได้มีการรายงานว่าผลของการใช้ความดันสูงยิ่งต่อระบบชีวภาพ ได้แก่การทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ การทำให้ไขมันแข็งตัว และทำให้เมมเบรนแตกสลาย ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ ในส่วนของโปรตีนนั้นโดยทั่วไปมีโครงสร้างอยู่ 4 ระดับ ได้แก่ โครงสร้างระดับแรกซึ่งได้แก่เส้นสายของกรดอะมิโนที่ต่อกันเป็นสายโซ่ (Heremans, 1995) ซึ่งยังไม่มีรายงานว่าความดันสูงยิ่งมีผลต่อพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) โครงสร้างระดับที่สองได้แก่การที่สายโซ่ของโพลีเปปไทด์มาจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ทั้งภายในเส้นสายเดียวกันและระหว่างเส้นสาย โครงสร้างระดับที่สามได้แก่เส้นสายต่าง ๆ ในโครงสร้างที่สองมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (globular shape) ด้วยพันธะนอนโควาเลนล์ซึ่งคาดว่าความดันสูง-ยิ่งมีผลในการทำลายพันธะนี้ ส่วนโครงสร้างระดับที่สี่ได้แก่การที่โปรตีนกลุ่มก้อนในโครงสร้างระดับที่สามด้วยพันธะนอนโคเวเลนต์ซึ่งไม่ทนต่อความดันสูงยิ่งเช่นเดียวกันกับโครงสร้างในระดับที่สาม (Silva and Weber, 1993)

2.9.5 การประยุกต์ใช้ความดันสูงยิ่งในกระบวนการแปรรูปอาหาร

ความดันสูงยิ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารรวมทั้งเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการเช่น เนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ การศึกษาและการประยุกต์ใช้ความดัน-สูงในการแปรรูปและถนอมอาหารในปัจจุบันมีเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ความดันสูงยิ่งยังสามารถใช้ในการละลายน้ำแข็งของอาหารแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาอาหารโดยไม่เกิดการแช่เยือกแข็ง การใช้ความดันสูงยิ่งในระดับที่เหมาะสมมีผลในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยการทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ สปอร์และเอนไซม์ที่ไม่ต้องการในอาหาร (Knorr, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.6 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงคล้ายคลึงกับการแปรรูปโดยการใช้ความร้อนซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป คือ เป็นระบบกะหรือต่อเนื่อง โดยทั่วไปเครื่องจะประกอบด้วยถังทนความดันสูงขนาด 10 - 50 ลิตร และเครื่องผลิตความดันสูง เมื่อวางอาหารในภาชนะบรรจุลงในถังแล้วจะปิดฝาด้านบนเครื่อง ต่อจากนั้นจะเป็นการสูบตัวกลางในการให้ความดันซึ่งนิยมใช้น้ำเข้ามาทางใต้ถัง ความดันจะถูกส่งผ่านตัวกลางและอาหารอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร อาหารจะไม่เปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากได้รับความดันเท่ากันทุกด้าน รอบเวลาที่ใช้ทั่วไปเป็นเวลาสั้น ๆ ไม่เกิน 15 นาที เมื่อได้ความดันตามที่ต้องการแล้วระบบปั๊มจะหยุดวาล์วปิดและความดันจะคงที่โดยที่ไม่จำเป็นต้องให้พลังงานแก่ระบบอีก การแปรรูปอาหารเหลวอาจทำได้โดยการใส่อาหารเหลวหรือน้ำผลไม้ลงในถัง และให้ความดันในระบบกึ่งต่อเนื่อง (วิไล, 2546)

2.9.7 การศึกษาผลของความดันสูงยิ่งต่อคุณภาพอาหาร

ในปี 1989 Hoover *et al.* พบว่าการใช้ความดัน 350 MPa เป็นเวลา 30 นาที หรือ 400 MPa เป็นเวลา 5 นาที จะสามารถลดปริมาณเซลล์ปกติของแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราได้ถึง 10 เท่า ต่อมา Patterson *et al.* (1995) ได้รายงานว่าการที่ความดันสูงยิ่งสามารถทำลายเซลล์ปกติของจุลินทรีย์ได้นั้นเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ หลายกระบวนการซึ่งเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันโดยเฉพาะการทำลายเซลล์เมมเบรนและการยับยั้งเอนไซม์ที่สำคัญต่าง ๆ รวมทั้งกระบวนการจำลอง DNA (DNA replication) และการคัดลอกรหัส (transcription) ขนาดของการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความดันสูงยิ่งในแต่ละระดับนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ขนาดของความดันสูงยิ่งและเวลาที่ให้ความดันสูงยิ่ง สปีชีส์ของเชื้อ อุณหภูมิ และสารตั้งต้นในกระบวนการ ต่อมา Quaglia *et al.* (1996) ได้ศึกษาวิตามินซีในถั่วที่ผ่านความดันสูง 900 MPa พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเหลือ 82 % ต่อมา Butz *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาผลของความดันสูงยิ่งที่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในกะหล่ำดอกและมะเขือเทศ ที่ความดัน 400 MPa อุณหภูมิ 25 ^{o}C พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในกะหล่ำดอกลดลงเล็กน้อยแต่กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิ-เดสจะลดลงอย่างมากเมื่อใช้ความดันที่ 600 MPa โดยเมื่อให้ความดันที่ 750 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 25 และ 50 ^{o}C จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในกะหล่ำดอกมากที่สุด ซึ่งความดันที่ 600 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 25 และ 50 ^{o}C ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกซิเดสในมะเขือเทศได้มากที่สุด และในปีเดียวกันนี้ Weemaes *et al*. (1997) ยังพบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในเห็ด มันฝรั่ง และอโวกาโด สามารถทนต่อความดันได้มาก โดยต้องใช้ความดันสูงถึง 800 - 900 MPa จึงสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดนี้ได้และการที่จะทำลายเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์อาจต้องใช้ร่วมกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ Krebbers *et al*. (2002) ยังพบว่าถั่วเขียวที่ผ่านความดันสูงมีปริมาณวิตามินซีเหลือเท่ากับ 76 % และระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหลักในการลดลงของปริมาณวิตามินซีในระหว่าง 1 เดือนของการเก็บรักษา ต่อมา Garriga *et al*. (2004) ได้ศึกษาการแปรรูปน้ำมะเขือเทศ โดยใช้ระดับความดัน 300 - 500 MPa อุณหภูมิ 25 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C เวลา 28 วัน พบว่าที่ระดับความดัน 400 และ 500 MPa สามารถลดระดับยีสต์และเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ตลอดอายุการเก็บรักษา แต่ความดัน 300 MPa พบว่ามีปริมาณยีสต์และเชื้อราเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ต่อมา Phunchaisri and Apichartsrangkoon (2005) รายงานว่าการใช้ความดันที่ 400 และ 600 MPa ที่อุณหภูมิ 20 - 40 ^{o}C ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแต่อุณหภูมิที่ 60 ^{o}C สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้เล็กน้อย ความดันที่ 600 MPa ที่ 60 ^{o}C นาน 20 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในลิ้นจี่สดที่ 50 และ 90 % ตามลำดับ แต่ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมมีผลเล็กน้อย เนื่องจากน้ำเชื่อมช่วยป้องกันลิ้นจี่จากความดัน ความดันที่ 400 MPa อุณหภูมิ 20 ^{o}C สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ถ้าใช้ความดัน 200 MPa อุณหภูมิ 60 ^{o}C เวลา 20 นาที เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ ต่อมา Houska *et al*. (2006) พบว่าน้ำบรอคโคลีและน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 500 MPa เวล 10 นาที ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบปริมาณยีสต์และเชื้อราระหว่างเก็บรักษานาน 21 วัน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 5 ^{o}C นอกจากนี้ เรวัตร (2549) พบว่าน้ำฝรั่งที่ผ่านความดันสูงยิ่งที่ 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิ-เดสลดลงเหลือ 82.41 และ 76.39 % ตามลำดับ และในปีเดียวกันนี้ วัชราภรณ์ (2549) รายงานว่าการใช้ความดัน 500 - 600 MPa อุณหภูมิ 30 - 50 ^{o}C เวลา 20 นาที ในการแปรรูปแยมฝรั่งไม่ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมถึงเชื้อยีสต์ และรา ต่อมา Castro *et al*. (2007) พบว่าไม่มีการลดลงของค่าความแน่นเนื้อของพริกหยวกหลังจากผ่านความดันสูงยิ่งที่ 100 - 200 MPa เวลา 10 - 20 นาที และสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในพริกหยวกได้ประมาณ 50 % อีกทั้งความดันสูง 200 MPa เวลา 20 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในพริกหยวกได้ 70 % ตามลำดับ และจากรายงานของ สุนทรี และอรุณี (2550) พบว่าการแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมด้วยความดันสูงยิ่ง 600 MPa ที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C เป็นเวลา 20 นาที เนื้อลิ้นจี่ทุกชุดการทดลองมีค่า L* เพิ่มขึ้น ค่าสี a* และ b* ลดลงจากลิ้นจี่สด อีกทั้งปริมาณวิตามินซีของเนื้อลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง 600 MPa อุณหภูมิ 30 และ 50 ^{o}C เป็นเวลา 20 นาที พบว่ามีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันที่ 78.56 และ 80.53 % ตามลำดับ และมีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือเท่ากับ 34.02 และ 45.66 % ตามลำดับ และในปีเดียวกันนี้ สุทธิศักดิ์ และอรุณี พบว่าน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงยิ่ง 400 - 600 MPa เป็นเวลา 20 - 40 นาที เมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี L* มีแนวโน้มลดลง ค่าสี a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.10 การพาสเจอไรซ์ (Pasteurization)

2.10.1 หลักการ

การพาสเจอไรซ์ (pasteurization) เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่รุนแรงนักที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 ^{o}C เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรสและทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์และรา และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด การพาสเจอไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่แต่ไม่ทั้งหมด ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์แล้วต้องเก็บรักษาในสภาวะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 - 10 ^{o}C เป็นต้น ความรุนแรงของการให้ความร้อนกับผลการยืดอายุผลิตภัณฑ์กำหนดได้โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหาร (วิไล, 2546)

2.10.2 เครื่องมือ

การพาสเจอไรซ์อาหารในบรรจุภัณฑ์ประเภทโลหะหรือพลาสติกจะใช้ส่วนผสมของไอน้ำและอากาศหรือน้ำร้อน เพราะมีความเสี่ยงต่อการแตกร้าวต่ำ อาหารจะถูกทำให้เย็นลงไปยัง 40 ^{o}C เพื่อระเหยน้ำบนผิวบรรจุภัณฑ์และป้องกันการเกิดสนิมภายนอกหรือที่ฝาและเพื่อเร่งให้ฉลากติดได้เร็วขึ้น กระบวนการพาสเจอไรซ์อาหารหลังการบรรจุมีทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ง่ายที่สุดประกอบด้วยอ่างน้ำร้อนซึ่งจะให้ความร้อนแก่อาหารที่บรรจุภาชนะแล้ว และวางในเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดหลังจากนั้นจะมีการปล่อยน้ำเย็นเข้าไปเพื่อทำให้อาหารเย็นลง สำหรับในระบบแบบต่อเนื่องจะมีสายพานลำเลียงอาหารที่บรรจุแล้วเข้าไปในหน่วยให้ความร้อนและหน่วยให้ความเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบการพาสเจอไรซ์อื่น ๆ อาจจะประกอบด้วยอุโมงค์ที่แบ่งหน่วยให้ความร้อนเป็นหลายๆ หน่วย มีการพ่นละอองน้ำซึ่งละเอียดมากเพื่อให้ความร้อนแก่อาหารในบรรจุภัณฑ์บนสายพานที่ผ่านเข้ามาในแต่ละหน่วย อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการพาสเจอไรซ์อย่างสมบูรณ์ ในส่วนการทำให้เย็นจะมีละอองน้ำฉีดลงมาด้วยเช่นกัน ข้อดีของการใช้อุโมงค์ไอน้ำ (steam tunnel) ในการพาสเจอไรซ์เทียบกับพาสเจอไรซ์ที่มีขนาดเล็ก คือ การให้ความร้อนที่เร็วกว่าและใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่อาหารสั้นกว่า อุณหภูมิในหน่วยให้ความร้อนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยการลดปริมาณของอากาศในส่วนผสมของไอน้ำและอากาศ การทำให้เย็นได้โดยการฉีดละอองน้ำหรือโดยการแช่ผลิตภัณฑ์ลงในอ่างน้ำเย็น (วิไล, 2546)

2.10.3 การศึกษาผลของการพาสเจอไรซ์ต่อคุณภาพอาหาร

ในปี 1954 Ponting *et al.* ทำการศึกษาการแปรรูปแอปปริคอทโดยใช้ความร้อน 90 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำแอปปริคอทได้ ต่อมา Luhadiya and Kulkarni (1978) พบว่าการใช้ความร้อนอุณหภูมิ 90 และ 100 ^{o}C เป็นเวลา 5 และ 1 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้เท่ากับ 90 % และ Greve *et al.* (1994) ยังได้ทำการศึกษาแครอทที่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าค่าความแน่นเนื้อจะลดลงมากกว่า 50 % จากค่าความแน่นเนื้อเริ่มต้น โดยค่าความแน่นเนื้อที่ลดลงเนื่องมาจากเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย และ Verlinden and De Baerdemaeker (1997) พบว่าค่าความแน่นเนื้อของแครอทลดลง 50 % หลังจากให้ความร้อนเป็นเวลา 2 - 20 นาที ต่อมา Lau *et al.* (2000) ยังพบว่าเกิดการอ่อนนิ่มของหน่อไม้ฝรั่งหลังจากผ่านกระบวนการความร้อนที่อุณหภูมิ 70 และ 98 ^{o}C ต่อมา Krebbers *et al.* (2002) พบว่าถั่วเขียวที่ผ่านความร้อน 90 ^{o}C เป็นเวลา 4 นาที มีปริมาณวิตามินซีเหลือเท่ากับ 10 % และระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหลักในการลดลงของปริมาณวิตามินซีในระหว่าง 1 เดือนของการเก็บรักษา ต่อมา Bahceci *et al.* (2004) พบว่าการลวกที่ 90 ^{o}C เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในถั่วเขียวได้ถึง 90 % และในปีเดียวกันนี้ ประไพ (2547) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของลิ้นจี่กระป๋องเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี L* มีแนวโน้มลดลงลิ้นจี่มีค่าความสว่างลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ต่อมา Schweiggert *et al.* (2005) รายงานว่าพริกหยวกป่นที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที มีกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลดลงประมาณ 98 % และในปีเดียวกันนี้ Schweiggert *et al.* (2005a) ได้รายงานว่า พริก ขิง และผักชี ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ^{o}C เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตรวจไม่พบปริมาณยีสต์และรา และการใช้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

90 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ โดยพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดประมาณ 10^{2} CFU/g ต่อมา Rivas *et al.* (2006) พบว่าน้ำส้มผสมน้ำแครอทหลังจากผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 98 ^{o}C เป็นเวลา 21 วินาที พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และเชื้อรา น้อยกว่า 1 CFU/ml อีกทั้ง เรวัตร (2549) พบว่าการให้ความร้อน 90 ^{o}C เป็นเวลา 30 และ 60 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำฝรั่งลดลงเหลือ 66.67 และ 52.31 % ตามลำดับ และในปีเดียวกันนี้ วัชราภรณ์ (2549) ได้ทำการศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาแยมฝรั่งที่แปรรูปด้วยความร้อนพบว่าแยมฝรั่งมีค่าสี L* ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (60 วัน) ต่อมา Castro *et al.* (2007) พบว่าพริกหยวกมีค่าความแน่นเนื้อลดลงหลังจากผ่านการลวกด้วยความร้อน 70 - 98 ^{o}C เป็นเวลา 1 - 2.5 นาที พริกหยวกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์อุณหภูมิ 70 ^{o}C เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้มากกว่า 85 % และพริกหยวกที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 70 - 98 ^{o}C เป็นเวลา 1 - 2.5 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ถึง 25 - 75 % และในปีเดียวกันนี้ สุนทรี และอรุณี (2550) รายงานว่าการแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมด้วยการพาสเจอร์ไรส์ 90 ^{o}C เป็นเวลา 3 นาที พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 46.63 % สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยมีค่ากิจกรรมที่เหลือเท่ากับ 7.58 % และลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมมีค่า L* ลดลงตามระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยลิ้นจี่จะมีสีคล้ำขึ้น ต่อมา Noci *et al.* (2008) รายงานว่าน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 94 ^{o}C เป็นเวลา 26 วินาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยมีค่ากิจกรรมที่เหลือเท่ากับ 0.9 และ 0.44 % ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved