บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝรั่ง

ฝรั่ง หรือ guava (*Psidium guajava* L.) เป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูล *Myrtaceae* ซึ่งมีมากกว่า 100 ชนิด หลายสกุล ชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดคือ สกุล *Psidium* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนและเขตอบอุ่นของทวีปอเมริกา ได้มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่สมัยอยุธยา โดยปลูกเป็นไม้ผล ไม้ให้ร่มเงา และได้มีการปลูกเพื่อการค้าประมาณ 40 ปี มานี้เอง (จารุพันธ์ และคณะ, 2543)

ผลฝรั่งโดยทั่วไปประกอบด้วยเปลือก 20 %(w/w) เนื้อ 50 %(w/w) และไส้เมล็ด 30 %(w/w) (Salunkhe and Kadam, 1995) ส่วนประกอบทางเคมีของฝรั่ง ประกอบด้วย น้ำตาล 6.8 %(w/w) ปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ 12.0 %(w/w) ปริมาณกรด 0.8 %(w/w) ปริมาณความชื้น 83.3 %(w/w) ปริมาณเส้นใย 3.8 %(w/w) และปริมาณเถ้า 0.66 %(w/w) (Menzel, 1985) นอกจากนี้ยังพบส่วนประกอบอื่นๆ อีก เช่น niacin, thiamin, riboflavin, carotene, calcium, iron, phosphorus และวิตามินเอในปริมาณที่สูง ปริมาณของกรดอินทรีย์ในผลจะพบทั้งกรด citric, malic, tartaric และ lactic โดยกรด citric และ malic จะมีมากที่สุด (Salunkhe and Kadam, 1995) โดยปริมาณกรดในผลจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรก และจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงผลสุก (Pantastico, 1975)

ฝรั่งจัดเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินซีและวิตามินเอซึ่งมีมากกว่ามะนาวถึง 4 เท่า จึงมีคุณค่าในการสร้างภูมิคุ้มกันโรคหวัดได้ดี (สรัสวดี, 2531) ปริมาณวิตามินซีในผลขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ พบว่า ฝรั่งเนื้อแดงจะมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าฝรั่งที่มีเนื้อสีขาว (Kumar and Hoda, 1974) โดยพบวิตามินซีที่เปลือกมากกว่าในเนื้อผล (Pantastico, 1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ฝรั่งยังเป็นแหล่งของเพคตินคุณภาพสูง ที่ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้งานได้และไม่ให้พลังงาน แต่เพคตินช่วยส่งเสริมการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ ทำให้ร่างกายกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ง่ายขึ้น สามารถดูดซึมแร่ธาตุที่เป็นอันตรายต่อร่างกายและใช้แก้พิษของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แมงกานีส โคบอลต์ ช่วยลดการดูดซึมโคเลสเตอรอลเข้าสู่ร่างกาย ป้องกันการเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเฉียบพลัน ช่วยให้ระบบขับถ่ายปกติ สำหรับคุณค่าทางอาหาร และปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญของฝรั่ง แสดงในตาราง 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

ตาราง 2.1 คุณค่าทางอาหารของฝรั่ง

รายการ	ปริมาณการวิเคราะห์
คาร์โบไฮเดรต (% w/w)	11.6
โปรตีน (% w/w)	0.9
เส้นใย (% w/w)	6.0
ไขมัน (% w/w)	0.1
ความชื้น (% w/w)	80.7

ที่มา : สรัสวดี (2541)

ตาราง 2.2 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญของฝรั่ง

รายการ	ปริมาณการวิเคราะห์
วิตามินบี1 (mg/100 g)	0.06
วิตามินบี2 (mg/100 g)	0.13
วิตามินซี (mg/100 g)	160.0
วิตามินเอ (mg/100 g)	89.0
แคลเซียม (mg/100 g)	13.0
เหล็ก (mg/100 g)	0.5
ฟอสฟอรัส (mg/100 g)	25.0

ที่มา : สรัสวดี (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กลิ่นของฝรั่งมีลักษณะเฉพาะตัวประกอบด้วย hydrocarbons, alcohols, carbonyls และ volatiles หลายชนิด ได้แก่ methyl benzoate, hexanol, p-phenyl ethyl acetate, methyl cinamate และ cinnamyl acetate ผลฝรั่งยังประกอบด้วย polyphenols พวก leucoanthocyanidins ซึ่งจะมีปริมาณลดลงเมื่อผลแก่ พบว่า มีความเกี่ยวข้องกับการลดความฝาดของผลสุก สารสีของเนื้อประกอบด้วยรงควัตถุ lycopene 4.8-6.9 mg ต่อ 100 g chlorophyll 0.2-1.6 mg ต่อ 100 g carotene 0.1-0.9 mg ต่อ 100 g และ xanthophyll 0.01-0.17 mg ต่อ 100 g ซึ่งสารสีเหล่านี้มีคุณภาพทางโภชนาการสูงโดยสามารถลดอนุมูลอิสระในร่างกายได้ (จารุพันธ์ และคณะ, 2541)

2.2 น้ำผลไม้

น้ำผลไม้ หมายถึง น้ำผลไม้ที่อยู่ในลักษณะพร้อมบริโภคโดยตรง ทำจากน้ำผลไม้ที่สดสะอาดและสุกโดยกรรมวิธีเชิงกล น้ำผลไม้นี้อาจทำจากน้ำผลไม้ที่ถูกทำให้เข้มข้นโดยผ่านกรรมวิธีระเหยน้ำออกจนเข้มข้น แล้วนำมาเจือจางภายหลังด้วยวัตถุประสงค์ที่จะรักษาคุณภาพและองค์ประกอบที่สำคัญไว้ น้ำผลไม้ที่อยู่ในภาชนะบรรจุต้องผ่านกรรมวิธีการแปรรูปอาจเป็นได้ทั้งน้ำผลไม้ใสและขุ่น (ปราณี, 2541) โดยทั่วไปกระบวนการผลิตน้ำผลไม้จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การสกัดน้ำผลไม้ การปรับคุณภาพและการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

2.2.1 การสกัดน้ำผลไม้

การสกัดของเหลวจากผลไม้มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกของเหลวและสารอาหารที่ละลายได้ในน้ำผลไม้ เช่น น้ำตาล กรด เกลือแร่ วิตามินต่างๆ รวมทั้งสารให้กลิ่น สารให้สี หรือ รงควัตถุต่างๆ นอกจากนี้ยังมีสารประเภทเส้นใยที่แขวนลอยในน้ำผลไม้ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ เพคติน เซลลูโลส ในน้ำผลไม้ที่สกัดได้สดๆ มีเอนไซม์ที่แขวนลอยอยู่หลายชนิด ตัวอย่างเอนไซม์ที่พบในน้ำผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์เพคติเนส เอนไซม์เซลลูเลส เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์แอสคอร์บิกออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส รวมทั้งเอนไซม์กลุ่มป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิ-เดชั่น (antioxidant enzymes) ซึ่งมีรายงานว่า เอนไซม์กลุ่มดังกล่าวจะไปช่วยเสริมประสิทธิภาพของการทำงานของระบบเอนไซม์ภายในร่างกายให้สมบูรณ์ และเกิดความสมดุลยิ่งขึ้น ดังนั้นการบริโภคน้ำผลไม้สดจึงทำให้ได้รับคุณค่าทางอาหารมากที่สุด ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนการสกัดน้ำผลไม้เพื่อให้ได้น้ำผลไม้ที่มีคุณภาพดีจึงต้องเลือกวิธีที่สกัดน้ำผลไม้ในปริมาณมาก พร้อมกับมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบของสารประกอบต่างๆ ครบถ้วนเหมือนน้ำผลไม้สด (ปราณี, 2541) โดยทั่วไปการสกัดน้ำผลไม้ทำได้ 2 วิธี คือ การสกัดโดยวิธีเชิงกล (mechanical extraction) และการสกัดโดยวิธีทางชีวภาพ (Biological extraction)

การสกัดโดยวิธีเชิงกล หมายถึง การใช้แรงทำให้เซลล์ของผลไม้ฉีกขาดหรือแยกออกจากกัน ส่งผลให้ส่วนของน้ำผลไม้ไหลซึมออกมาพร้อมกับสารอาหาร สารให้กลิ่นรส และสารให้สี วิธีการดังกล่าวได้แก่ การบีบ การหีบ การอัด การตัด การตีป่น การสับ หรืออาจใช้วิธีสับและบีบอัดร่วมกัน การสกัดน้ำผลไม้วิธีนี้เหมาะกับผลไม้ที่มีปริมาณน้ำมาก เซลล์ผลไม้มีขนาดใหญ่หรือมีเส้นใยยาวมีสารที่ละลายได้ในของเหลวที่ไม่อยู่ในลักษณะคอลลอยด์ ตัวอย่างผลไม้ประเภทนี้ได้แก่ ฝรั่ง แตงโม ส้ม องุ่น สับปะรด และอ้อย ลักษณะภายนอกของผลไม้ดังกล่าวนี้จะเต่ง เมื่อกดหรือบีบจะพบแรงต้านจากภายในเนื่องจากมีน้ำอยู่มาก

การสกัดโดยวิธีทางชีวภาพ หมายถึง การใช้สารชีวภาพ คือ เอนไซม์ไปย่อยสลายเซลล์เนื้อผลไม้ให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง และปล่อยของเหลวหรือน้ำผลไม้ออกมาโดยไม่ต้องใช้แรงกดเนื้อเยื่อ การสกัดน้ำผลไม้โดยวิธีนี้เหมาะกับผลไม้ที่มีปริมาณน้ำน้อยและเซลล์เนื้อผลไม้มีขนาดเล็กหรือเส้นใยที่มีลักษณะสั้นมีสารที่ละลายได้ในลักษณะคอลลอยด์ ผลไม้เหล่านี้เมื่อนำมาตีป่นจะได้น้ำผลไม้ที่มีลักษณะข้น มีปริมาณเนื้อมากแต่ปริมาณน้ำน้อย เรียกว่า ผลไม้เนื้อข้น (pulpy fruit) ได้แก่ มะม่วง กล้วย ทุเรียน น้อยหน่า ขนุน เป็นต้น ผลไม้ดังกล่าวนี้ลักษณะเนื้อจะเหนียวนุ่ม ไม่เต่ง และมักเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวาน กลิ่นรสหอมแรง มีปริมาณสารอาหารที่ละลายได้สูงและยังให้พลังงานต่อกรัมสูงกว่าผลไม้ประเภทแรก การสกัดน้ำผลไม้จากผลไม้เนื้อข้นมักใช้วิธีเติมเอนไซม์ลงไปในเนื้อผลไม้ก่อนจึงผ่านการบด ต้ม หรือคั้น ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน หรืออาจใช้วิธีเชิงกลโดยเติมน้ำลงไปโดยตรงแล้วให้แรงตีป่นให้เนื้อผลไม้แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กลง ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สะดวกและประหยัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 การปรับปรุงคุณภาพ

การปรับปรุงคุณภาพ หมายถึง การทำให้น้ำผลไม้ที่สกัดได้มีลักษณะคุณภาพตามความต้องการสำหรับประเภทของน้ำผลไม้นั้นๆ ได้แก่ น้ำผลไม้แบบใส น้ำผลไม้แบบขุ่น และน้ำผลไม้ปรุงรสชาติ

การปรับปรุงคุณภาพด้านความขุ่น

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความนิยมน้ำผลไม้ชนิดขุ่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำผลไม้ชนิดขุ่นอุดมไปด้วยเส้นใยอาหารจากเนื้อผลไม้ น้ำผลไม้ชนิดขุ่นที่นิยมบริโภคกันทั่วไป ได้แก่ น้ำส้ม น้ำสับปะรด น้ำฝรั่ง และน้ำมะม่วง น้ำผลไม้ดังกล่าวนี้ผู้บริโภคต้องการให้มีความรู้สึกว่าได้บริโภคเนื้อผลไม้ไปด้วย แต่เนื้อผลไม้ที่เป็นสาเหตุของความขุ่นดังกล่าวจะไม่เสถียร กล่าวคือ ถ้าไม่มีกระบวนการรักษาความคงตัวของความขุ่นไว้อนุภาคของความขุ่นจะเกิดการแยกชั้นและตกตะกอน ทำให้น้ำผลไม้สูญเสียลักษณะปรากฏที่ดีและผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพจึงมีเป้าหมายเพื่อทำให้เกิดความคงตัวของกากตะกอน (cloud stability) ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเติมสารเสริมความคงตัว (stabilizer) การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization) การใช้ความร้อนหรือสารเคมีเพื่อยับยั้งเอนไซม์ การใช้สารที่ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน(complex agent) ต่ออนุมูลโลหะ เป็นต้น

- **การเติมสารเสริมความคงตัว (stabilizer)** เป็นวิธีการรักษาความขุ่นในน้ำผลไม้ที่นิยมเนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ สารเสริมความคงตัวที่นิยมใช้มาก คือ เพคตินที่สกัดได้จากผลไม้จำพวกส้มและแอปเปิล กลูโคแมนแนนจากหัวบุก นอกจากนี้ยังมีการเติมสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ กัมชนิดต่างๆ ทั้งในรูปสารธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ (Elshamei and Elzoghbi, 1994)

- **การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization)** เป็นการทำให้อนุภาคของกากตะกอนมีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องปั่นผสม (homogenizer) และเกิดการแขวนลอยได้ดี ไม่เกิดการตกตะกอนหรือแยกชั้น นิยมใช้ในน้ำผลไม้ที่ความข้นหนืดกลุ่มเนคต้าและสควอช เช่น น้ำมะม่วง เป็นต้น (Roy *et al.*, 1997)

- การใช้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ พบว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะความขุ่นในน้ำผลไม้ คือ เอนไซม์เพคตินเอสเทอร์เรส (pectin esterase, EC 3.1.1.11) ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวจะเร่งปฏิกิริยาสลายพันธะเอสเทอร์เพื่อกำจัดหมู่เมทิล ($-CH_3$) ออกจากโมเลกุลของกาแลคทูโรแนน (galacturonan) ทำให้เกิดหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (-COOH) ในโมเลกุลของเพคตินมากขึ้นได้เป็นกรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับอิออนบวกชนิดไดวาเลนท์ (divalent cation) ได้ดี โดยเฉพาะแคลเซียมอิออน ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมเพคเตทที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนทำให้คุณสมบัติด้านความขุ่นเสียไป ดังนั้นการป้องกันหรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวนี้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการรักษาความขุ่นของน้ำผลไม้ไว้ได้ (ประพันธ์, 2538; ลลิดา, 2546)

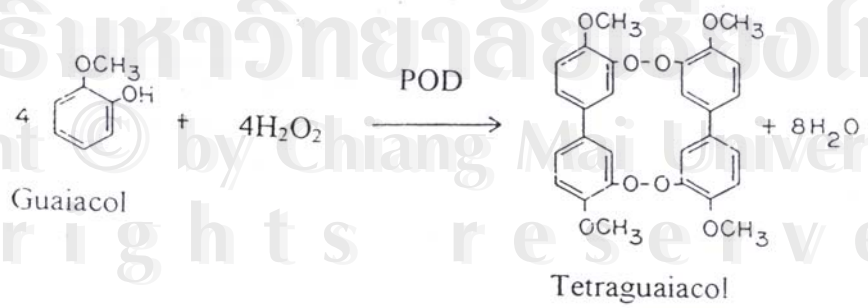
การป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชเมื่อเซลล์ถูกทำลายทางกล เช่น การปอกเปลือก หรือการหั่นชิ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอล (monophenol) ที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารสีน้ำตาลโดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิ-เดส (polyphenol oxidase)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase, EC 1.11.1.7) จัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductase) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ปฏิกิริยาหลักของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส คือ peroxidatic reaction มีสับสเตรทเป็นสารประกอบฟีนอลทำหน้าที่เป็น hydrogen donors (AH_2) เช่น *p*-cresol, guaiacol, resorcinol และ aniline เป็นต้น ซึ่งมีลักษณะของปฏิกิริยาดังสมการ

$$2H_2O_2 + 2AH_2 \longrightarrow 2H_2O + \text{polymerized product}$$

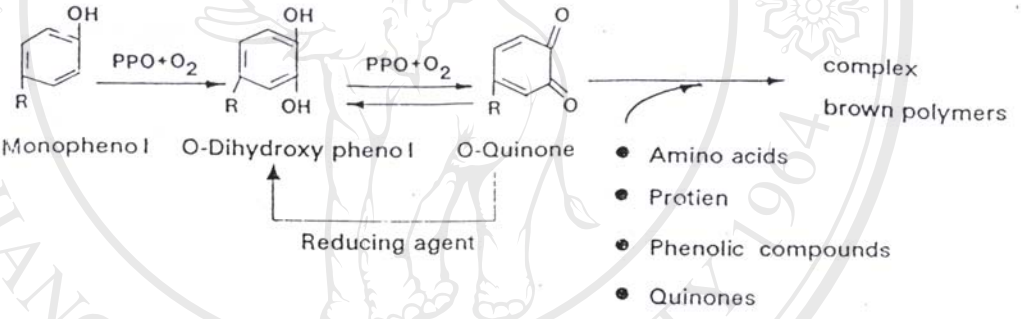
ตัวอย่างปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยา oxidatic reaction ซึ่งเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส
ที่มา : ปราณี (2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase, EC 1.14.18) เป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductase) เช่นกัน ใช้ออกซิเจนในกระบวนการออกซิเดชันสารประกอบโมโนฟีนอล โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น *ออร์โท*-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อให้เป็น *ออร์โท*-ควิโนน (*o*-quinone) เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส อาจมีชื่อเรียกว่า โพลีฟีนอลเลส, ฟีนอเลสไทโรซิเนส, *ออร์โท*-ไดฟีนอลออกซิเดส (*o*-diphenol oxidase) หรือแคตีคอลออกซิเดส (catecol oxidase) ซึ่งควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสนี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545) โดยมีปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO)
ที่มา : Saper (1993)

สับสเตรตที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ได้แก่ สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในพืช ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ (flavonoide) เช่น แอนโทไซยานิน ลูโคแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอลแคตีคอล กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจินิก แคตีชิน เอสเทอร์ของกรดชินนามิก (cinnamic acid ester) 3,4 –ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-dihydroxyphenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส อยู่ในช่วงพีเอช 5 – 7 เอนไซม์นี้ไม่ค่อยคงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ กรดฟีนอลิก-ซัลไฟด์ คีเลติงเอเจนต์ (chelating agent) และรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น วิตามินซีและซิสเตอีน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาสำคัญ ในการแปรรูปผลไม้และผักหลายชนิด ได้แก่ แอปเปิล ท้อ สาลี กล้วย องุ่น ฝรั่ง มันฝรั่ง เห็ด มะเขือ ผักสลัด ใบชา และเมล็ดกาแฟ เป็นต้น ซึ่งการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในอาหารทำได้หลายวิธี จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น

1. ใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ เช่น การพาจเจอร์ไรซ์ เป็นต้น
2. ใช้สารเคมียับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เช่น สารกลุ่มซัลไฟต์ เป็นต้น
3. เติมสารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น วิตามินซี ความเข้มข้นประมาณ 0.1 – 0.3 เปอร์เซ็นต์
4. กำจัดออกซิเจน โดยใช้ภาชนะบรรจุที่อากาศผ่านเข้าไม่ได้ หรือลดความดันของอากาศให้ต่ำกว่า 380 torr หรือเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำมากๆ
5. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสับสเตรตที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

การยับยั้งเอนไซม์อาจใช้หลายวิธีร่วมกันก็ได้ แต่การลวกด้วยไอน้ำใช้กับผลไม้ไม่ได้ เพราะจะทำให้ผลไม้บางชนิดมีกลิ่นผิดปกติ อย่างไรก็ตามสามารถใช้ความร้อนยับยั้งเอนไซม์ในน้ำผลไม้และเนื้อผลไม้ตีป่น (puree) หรือการเติมวิตามินซีลงไปทำให้เกิดปฏิกิริยากับ *ออร์โท*-ควิโนน เพื่อเปลี่ยนกลับให้เป็น *ออร์โท*-ไดฟีนอล ดังสมการ

4-methyl- o -benzoquinone + ascorbic acid → 4-methylcatenol + dehydroascorbic acid

โดยทั่วไปเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 85 °C ขึ้นไป ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 °C ในการทำลายเอนไซม์ดังกล่าว การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์โดยใช้ความร้อน นิยมใช้ร่วมกับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และภายหลังการให้ความร้อนแล้วต้องทำให้น้ำผลไม้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารไว้ให้ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด

เมื่อน้ำตาลแอลโดสหรือคีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ (a_w>0.2) กับเอมีนจะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆมากมายหลายชนิด ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหาร และอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะทอด อบ-ปิ้ง-ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรด อะมิโน และโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ nonenzymatic browning ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (นิธิยา, 2545)

ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดสจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโควิลเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (imene หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือ คีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า amodori product เช่น 1- อะมิโน-1- ดีออกซี-คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีพีเอช 5 หรือต่ำกว่า
3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ amodori product ได้เป็นไดคีโตสเอมีน หรือไดอะมิโนชูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซซูโลส
4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซสอนุพันธ์ฟูแรนคือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮน์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HFM)
5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HFM จะเกิดพอลิเมอไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมลไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction) ดังนั้นโปรดักส์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจึงมีทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำและพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซิง กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆอยู่รวมกัน และได้รับความร้อนเช่น การเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ของขนมอบ ปฏิกิริยานี้ยังมีความสำคัญต่อการทำคาราเมล ทอฟฟี่ และช็อกโกแลตนม เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือ ทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย นอกจากนั้นหากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น ออกซิเจน โลหะ ฟอสเฟส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ด

1. การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ดีที่สุด คือ การกำจัดสารเริ่มที่เป็นสับสเตรตของปฏิกิริยา ซึ่งน้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ค่อนข้างช้ากว่าน้ำตาลชนิดอื่น และสามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยออกซิไดส์ให้เป็นกรดกลูโคนิกด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส

2. การล้างเป็นวิธีการที่ช่วยลดปริมาณน้ำตาล และกรดอะมิโนออกไปจากผิวนอกได้ เพราะสารเหล่านี้ละลายได้ดีในน้ำ สำหรับอาหารบางชนิดเช่น มันฝรั่ง การเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำตาลเปลี่ยนเป็นสตาร์ช จะช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้น้อยลงระหว่างการแปรรูป หรือระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้

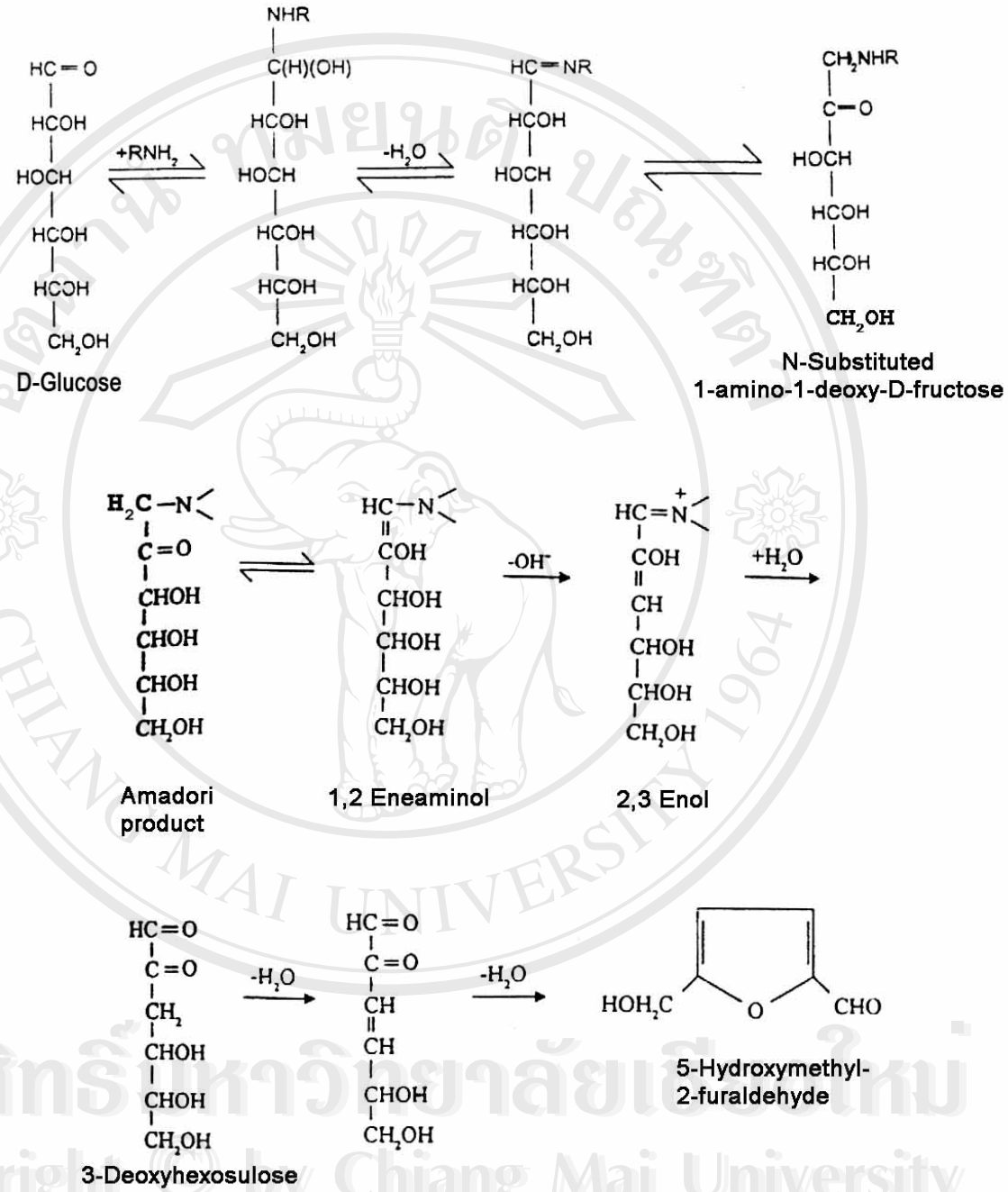
3. การแปรรูปอาหารควรใช้อุณหภูมิต่ำที่สุด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยที่สุด

4. การควบคุมปริมาณน้ำในอาหารให้น้อยลง หรือเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นจะทำให้สับสเตรตเจือจาง

5. การลดค่าความเป็นกรด-ด่างก็ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ และอาจเพิ่มให้สูงขึ้นตามที่ต้องการในภายหลัง

6. การใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยจะไปทำปฏิกิริยากับ degradation product ของอะมิโนชูการ์ ป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นเมลาดินอยดิน ข้อเสียของการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ จะไปทำปฏิกิริยากับวิตามินบีหนึ่งและโปรตีนด้วย ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลง จึงไม่อนุญาตให้ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอาหารที่เป็นแหล่งของวิตามินบีหนึ่งหรือไทอะมิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ที่มา : BeMiller and Whistler (1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การใช้สารเคมีช่วยยับยั้งการทำหน้าที่ของหมู่คาร์บอนิลอิสระ หรือสารประกอบคาร์บอนิลอื่นๆ ก็ช่วยป้องกันปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ เช่นใช้สารประกอบซัลไฟต์ คือ โซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์จะยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลกับเอมีน โดยหมู่ซัลไฟต์จะไปรวมตัวกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลแอลโดส และทำให้เกิดสารประกอบดังสมการ

$$NaHSO_3 + RCHO \rightarrow RCHOHSO_3Na$$

ปัจจุบันยังไม่พบสารเคมีใดที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีเทียบเท่ากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

8. หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งอาจทำได้โดยใช้สารต้านออกซิเดชัน สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง อาจใช้วิตามินซีได้ แต่การใช้ปริมาณวิตามินซีสูงในปฏิกิริยาเมลลาร์ด อาจทำให้เกิดปฏิกิริยานี้ได้เร็วขึ้น เนื่องจากการเกิด oxidation degradation ของวิตามินซี และทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบคาร์บอนิลหรือหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้

2.2.3 การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

น้ำผลไม้ส่วนใหญ่มีความเป็นกรดสูง จุลินทรีย์จะมีความทนทานต่อความร้อนได้น้อยกว่าอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ วัตถุประสงค์หลักในการให้ความร้อนอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (ค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4.6) คือ การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยปริมาณความร้อนที่ใช้จะไม่สูงนัก เรียกว่า การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) การใช้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์จะมีผลในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วย โดยพบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่พบในน้ำผลไม้จะเป็นเชื้อจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่สร้างสปอร์ ดังนั้นจึงสามารถใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำเดือดในการฆ่าเชื้อได้ (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตาม การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ความร้อนถือว่าเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมานาน แม้ว่าการให้ความร้อนจะสามารถควบคุมจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ความร้อนอาจเปลี่ยนคุณสมบัติของอาหาร เช่น กลิ่นรส วิตามิน ดังนั้นการแปรรูปอาหารด้วยวิธีที่ไม่ต้องใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร โดยให้ผลในการถนอมอาหาร

ใกล้เคียงกันจึงได้รับความสนใจมากขึ้น วิธีการแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูงจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเริ่มใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทแยม น้ำผลไม้ และในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้กับอาหารแปรรูปในภาชนะบรรจุด้วย (วิไล, 2545; Apichartsrangkoon *et al.*, 1998; 1999)

2.3 การแปรรูปน้ำผลไม้ด้วยความร้อน

2.3.1 หลักการ

การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่รุนแรงนักที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 ^{o}C เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาน้ำผลไม้ วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส และทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์และรา และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด การพาสเจอไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่แต่ไม่ทั้งหมด ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วต้องเก็บรักษาในสภาวะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-10 ^{o}C เป็นต้น ความรุนแรงของการให้ความร้อนกับผลการยืดอายุผลิตภัณฑ์กำหนดได้โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำผลไม้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วน้ำผลไม้จะมีค่าความเป็นกรดสูง (pH < 4.6) ระดับความร้อนที่ใช้มีหลายระดับ เช่น 65 ^{o}C เวลา30 นาที, 77 ^{o}C เวลา 1 นาที หรือ 88 ^{o}C 15 วินาที เป็นต้น (วิไล, 2545)

2.3.2 เครื่องมือ

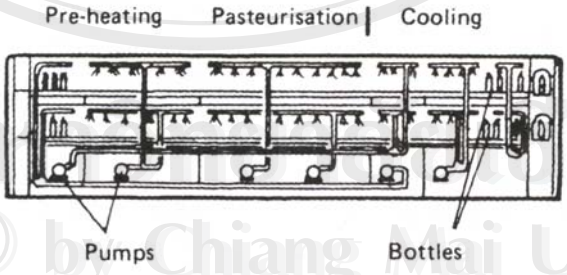
การพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลวที่ผ่านการบรรจุแล้ว

กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลวบางชนิด เช่น เบียร์และน้ำผลไม้ เป็นการพาสเจอร์ไรซ์หลังการบรรจุอาหารลงภาชนะแล้ว สำหรับอาหารที่บรรจุขวดแก้วต้องบรรจุน้ำด้วยเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกะทันหัน (thermal shock) ซึ่งจะทำให้เกิดรอยร้าวของบรรจุภัณฑ์ ความแตกต่างสูงสุดระหว่างอุณหภูมิของบรรจุภัณฑ์และน้ำที่ภาชนะแก้วจะทนได้คือ 20 ^{o}C สำหรับการให้ความร้อนและ 10 ^{o}C สำหรับการทำให้เย็น การพาสเจอร์ไรซ์อาหารในบรรจุภัณฑ์ประเภทโลหะหรือพลาสติกจะใช้ส่วนผสมของไอน้ำและอากาศหรือน้ำร้อน เพราะมีความเสี่ยงต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การแตกร้าวต่ำ อาหารจะถูกทำให้เย็นลงไปยัง 40 ^{o}C เพื่อระเหยน้ำบนผิวบรรจุภัณฑ์และป้องกันการเกิดสนิมภายนอกหรือที่ฝาและเพื่อเร่งให้ฉลากติดได้เร็วขึ้น กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหารหลังการบรรจุมีทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ง่ายที่สุดประกอบด้วยอ่างน้ำร้อนซึ่งจะให้ความร้อนแก่อาหารที่บรรจุภาชนะแล้วและวางในเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นจะมีการปล่อยน้ำเย็นเข้าไปเพื่อทำให้อาหารเย็นลง สำหรับในระบบแบบต่อเนื่องจะมีสายพานลำเลียงอาหารที่บรรจุแล้วเข้าไปในหน่วยให้ความร้อนและหน่วยให้ความเย็น

ระบบการพาสเจอร์ไรซ์อื่นๆ อาจจะประกอบด้วยอุโมงค์ที่แบ่งหน่วยให้ความร้อนเป็นหลายๆ หน่วย (รูปที่ 2.4) มีการพ่นละอองน้ำซึ่งละเอียดมากเพื่อให้ความร้อนแก่อาหารในบรรจุภัณฑ์บนสายพานที่ผ่านเข้ามาในแต่ละหน่วย อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการพาสเจอร์ไรซ์อย่างสมบูรณ์ ในส่วนการทำให้เย็นจะมีละอองน้ำฉีดลงมาด้วยเช่นกัน ข้อดีของการใช้อุโมงค์ไอน้ำ (steam tunnel) ในการพาสเจอร์ไรซ์เทียบกับเครื่องพาสเจอร์ไรซ์ที่มีขนาดเล็ก คือ การให้ความร้อนที่เร็วกว่าและใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่อาหารสั้นกว่า อุณหภูมิในหน่วยให้ความร้อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นโดยการลดปริมาณของอากาศในส่วนผสมของไอน้ำและอากาศ การทำให้เย็นได้โดยการฉีดละอองน้ำหรือโดยการแช่ผลิตภัณฑ์ลงในอ่างน้ำเย็น (วิไล, 2545)



รูปที่ 2.4 เครื่องพาสเจอร์ไรซ์แบบอุโมงค์
ที่มา : วิไล (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

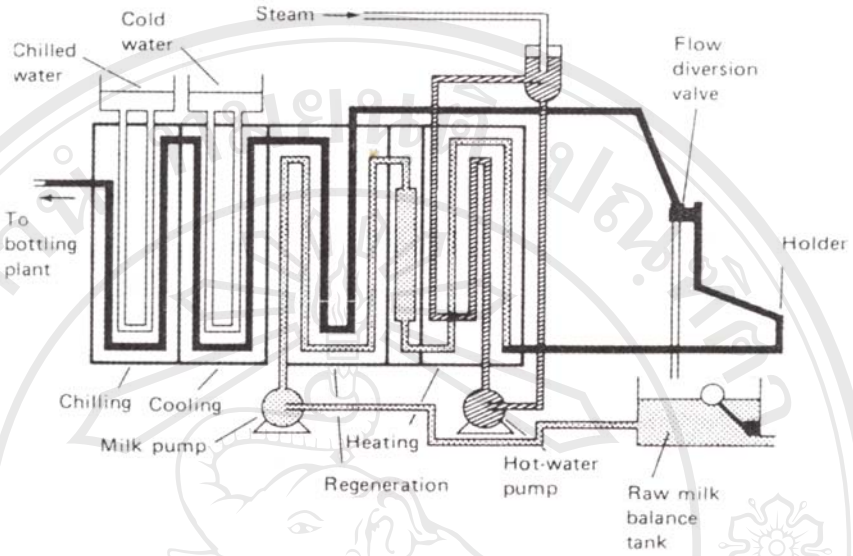
การพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลวก่อนการบรรจุ

การพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลวบางชนิดในปริมาณไม่มากนัก อาจใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดปาดผิวหรือใช้หม้อเปิดในการต้มก็ได้ อย่างไรก็ตามการพาสเจอร์ไรซ์ของเหลวที่มีความหนืดต่ำก่อนการบรรจุในปริมาณมาก เช่น นม ผลิตภัณฑ์นม น้ำผลไม้ ไข่เหลว เบียร์ และไวน์ นิยมใช้เครื่องที่ทำงานได้ต่อเนื่อง เช่น การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสำหรับน้ำผลไม้ ไวน์ และผลิตภัณฑ์บางชนิด จำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดอากาศออกเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา อาหารเหลวเหล่านี้จะถูกฉีดพ่นเข้าไปในภาชนะสุญญากาศและมีการกำจัดอากาศออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศก่อนการพาสเจอร์ไรซ์

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (plate heat exchanger) ประกอบด้วยแผ่นแสตนเลสบางๆ หลายแผ่นวางประกบและยึดกันโดยกรอบโลหะ การประกบเรียงกันเช่นนี้จะทำให้เกิดช่องขนานกันระหว่างแผ่นอาหารเหลวและตัวกลางถ่ายเทความร้อน เช่น น้ำร้อนหรือไอน้ำ ซึ่งจะถูกปั๊มผ่านช่องเหล่านี้สลับกัน โดยส่วนใหญ่จะไหลสวนทางกัน (counter-current flow) แผ่นโลหะทั้งหมดจะถูกปิดแน่นด้วยยางสังเคราะห์เพื่อป้องกันการผสมกันระหว่างตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และการทำให้เย็น แผ่นโลหะมีลักษณะเป็นลูกฟูกเพื่อทำให้ของเหลวไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) ร่วมกับการปั๊มด้วยความเร็วสูง จึงช่วยทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น

กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.5 อาหารจะถูกสูบจากถังรักษาสมดุล (balance tank) ไปยังหน่วยรีเจนเนอเรชัน (regeneration) ซึ่งจะร้อนขึ้นด้วยการถ่ายเทความร้อนจากอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์มา จากนั้นเมื่อเข้าไปในหน่วยให้ความร้อนอาหารจะมีอุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้และอยู่ในท่อพาสเจอร์ไรซ์ตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้เกิดการพาสเจอร์ไรซ์ที่สมบูรณ์ ถ้าอุณหภูมิของอาหารยังเพิ่มขึ้นไม่ถึงอุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรซ์ วาล์วไหลกลับจะเปิดให้อาหารไหลกลับไปยังถังรักษาสมดุลเพื่อกลับเข้ามาผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ใหม่อีกครั้ง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วจะถูกทำให้เย็นในส่วนของรีเจนเนอเรชัน ซึ่งในขณะเดียวกันก็จะเป็นส่วนของการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่อาหารที่ส่งเข้ามาด้วย และถูกทำให้เย็นด้วยน้ำเย็นหรือน้ำเย็นจัดต่อไปในส่วนของการทำให้เย็น การใช้ระบบนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่เช่นนี้ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มาก โดยสามารถนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้กว่า 95% (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 การพาสเจอร์ไรซ์โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
ที่มา : วิไล (2545)

2.4 การแปรรูปน้ำผลไม้ด้วยเทคนิคความดันสูง

2.4.1 หลักการ

การใช้ความดันสูงจะช่วยทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ รวมทั้งทำให้โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ในอาหารเสียสภาพ หลักการพื้นฐานของการใช้ความดันสูงกับอาหารคือ การบีบอัดน้ำที่อยู่ล้อมรอบอาหาร การลดปริมาตรของน้ำที่ความดันสูงขึ้นถือว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ น้ำจะมีปริมาตรลดลงประมาณ 4% ที่ 100 MPa, 7% ที่ 200 MPa และ 11.5% ที่ 400 MPa อุณหภูมิ 22 ^{o}C และน้ำจะเปลี่ยนเป็นของแข็งที่ความดันสูงกว่า 1000 MPa ณ อุณหภูมิห้อง การเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปของวัตถุชีวภาพที่ความดันสูงกว่า 100 MPa เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ย้อนกลับ ดังนั้นการประยุกต์ใช้ความดันที่ 100 – 1000 MPa กับอาหารจึงมีประโยชน์มาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อสารละลายโปรตีนอยู่ในสภาวะความดันสูง โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพอย่างย้อนกลับได้หรือไม่ได้ขึ้นกับธรรมชาติของโปรตีนนั้นรวมทั้งค่าความดันที่ได้รับ ทั้งนี้เนื่องจากพันธะนอนโควาเลนท์ (พันธะไฮโดรเจน พันธะอิออนิกและพันธะไฮโดรโฟบิก) จะถูกทำลายลงหรือมีการสร้างพันธะขึ้นจากการที่ระบบมีปริมาตรลดลง ส่วนพันธะโควาเลนท์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะดังกล่าว โครงสร้างของสารประกอบขนาดใหญ่ เช่น กรดนิวคลีอิก แป้ง โพลิแซคคาไรด์ และไขมัน ซึ่งมีพันธะนอนโควาเลนท์เป็นองค์ประกอบจะถูกทำลายและสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานที่ความดันสูง เช่น เกิดการเสียสภาพ ตกตะกอน เกิดเจล ในขณะที่สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กซึ่งไม่มีพันธะนอนโควาเลนท์ เช่น วิตามิน กลิ่นรส ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ

ผลของเทคนิคความร้อนเปรียบเทียบกับเทคนิคความดันสูงในการแปรรูปอาหาร แสดงดังตาราง 2.3 จะเห็นว่า ผลของความดันมีผลคล้ายคลึงกับผลของความร้อน แต่ข้อดีคือ การใช้ความดันสูงจะไม่พบผลอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ความร้อน เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดกลิ่นไหม้ เป็นต้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้ความดันสูงในการถนอมอาหารโดยให้คงรักษากลิ่นรสธรรมชาติไว้ได้จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจ

ตาราง 2.3 ผลของเทคนิคความร้อนเปรียบเทียบกับเทคนิคความดันสูงในการแปรรูปอาหาร

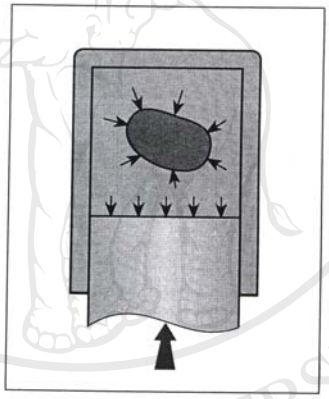
การแปรรูป	เทคนิคความร้อน	เทคนิคความดันสูง
โปรตีนเกิดการเสียสภาพ	+	+
การตกตะกอนของโปรตีน	+	+
แป้งเกิดการเจลาติไนเซชัน	+	+
การเปลี่ยนแปลงทางเคมี	+	-
เอนไซม์สูญเสียกิจกรรม	+	+
การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์	+	+
การฆ่าแมลงและพยาธิ	+	+

ที่มา : วิไล (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงจะคล้ายคลึงกับการแปรรูปโดยการใช้ความร้อนซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป คือ เป็นระบบกะหรือต่อเนื่อง (Bridgman, 1914) โดยทั่วไปเครื่องจะประกอบด้วยถังทนความดันสูงขนาด 10 – 50 ลิตร และเครื่องผลิตความดันสูง เมื่อวางอาหารในภาชนะบรรจุลงในถังแล้วจะปิดฝาด้านบนเครื่อง ต่อจากนั้นจะเป็นการสูบตัวกลางในการให้ความดันซึ่งนิยมใช้น้ำเข้ามาทางใต้ถัง ความดันจะถูกส่งผ่านตัวกลางและอาหารอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร อาหารจะไม่เปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากได้รับความดันเท่ากันทุกด้าน ดังรูปที่ 2.6 รอบเวลาที่ใช้ทั่วไปเป็นเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 15 นาที เมื่อได้ความดันตามที่ต้องการแล้ว ระบบปั๊มจะหยุด วาล์วปิด และความดันจะคงที่โดยที่ไม่จำเป็นต้องให้พลังงานแก่ระบบอีก

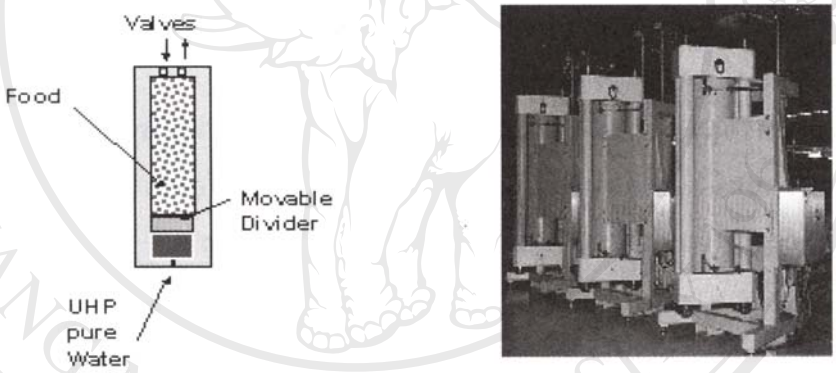


รูปที่ 2.6 แรงดันของตัวกลางที่กระทำต่ออาหารภายใต้ความดันสูง
ที่มา : Ledward *et al.* (1995)

การแปรรูปอาหารเหลวด้วยความดันสูงสามารถทำได้ทั้งระบบกะ (batch system) และระบบต่อเนื่อง (continuous) การให้ความดันระบบกะจะใส่อาหารเหลวหรือน้ำผลไม้ลงในภาชนะบรรจุก่อนการให้ความดันสูง (รูปที่ 2.7) ส่วนรูปที่ 2.8 เป็นการให้ความดันสูงระบบต่อเนื่อง จะเห็นว่า ประกอบด้วยไอโลเลเตอร์ (isolator) หลายตัวเรียงต่อกัน อาหารจะถูกสูบเข้าไปในโอโซเลเตอร์ซึ่งเป็นถังความดันสูงและใช้น้ำเป็นตัวกลางความดันตามเวลาที่กำหนด อาหารที่ผ่านการให้ความดันสูงจะถูกบรรจุอย่างปลอดเชื้อต่อไป (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.7 เครื่องแปรรูปอาหารในภาชนะบรรจุด้วยความดันสูงแบบกะ
ที่มา : วิไล (2545)



รูปที่ 2.8 เครื่องแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงแบบต่อเนื่อง
ที่มา : วิไล (2545)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Butz *et al.* (2003) ศึกษาผลของ ultra high pressure (UHP) ที่ 14 Kbar ต่อค่า anti-mutagenic factor, anti-oxidative factor, น้ำตาล, กรดแอสคอร์บิค และแคโรที-นอยด์ ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ พบว่า ความดันไม่มีผลทำให้สูญเสียสารดังกล่าว แต่ความดันที่ใช้ไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสได้อย่างสมบูรณ์ เพราะขณะเก็บตัวอย่างไว้ 30 วัน น้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Dong *et al.* (1996) ศึกษาผลของเทคนิคความดันสูงต่ออายุการเก็บรักษาและลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำ *Angelica Keiskei* โดยใช้ความดันที่ 558 MPa เป็นเวลา 7 นาที จากนั้นเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ 4 ^{o}C พบว่า เชื้อ *Pseudomonas* spp., *E. coli* และ coliform bacteria ถูกทำลายเกือบหมด และภายหลังจากเก็บไว้ 8 วัน พบว่า ลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างสด

Parish (1998) เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำส้มวาเลนเซียที่ผ่านการพาจเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนและความดันสูง พบว่า การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 วิธีนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปด้วยความดันสูงจะดีกว่าความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 และ 8 ^{o}C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างทั้ง 2 มีน้อยกว่า 10 cfu/ml แต่การพาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนสามารถทำลายเอนไซม์เพคตินเมธิลเอสเทอร์เรส (pectin methylesterase, PME) ได้มากกว่าการใช้ความดันสูง

Seyderhelm et al. (1996) ศึกษาผลของความดันต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) ของน้ำส้มแมนดาริน พบว่า การใช้ความดัน 600 MPa ที่อุณหภูมิ 23 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ลดลงเหลือ 70%

Ye *et al.* (1996) ศึกษาผลของความดันต่อ *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli*, และ *Staphylococcus epidermidis* ที่เจริญในวุ้น, น้ำซุป, แยมแอปเปิ้ล และน้ำผลไม้ โดยใช้ความดัน 300 MPa อุณหภูมิ 5 ^{o}C เวลา 1-20 นาที พบว่า *S. epidermidis* ถูกทำลายได้มากกว่า 90 % ในเวลา 11.2 นาที ที่ระดับ pH 7.2 และในเวลา 4.8 นาทีที่ระดับ pH 4.0

Yen and Lin (1996) ศึกษาผลของเทคนิคความดันสูงต่อคุณภาพและอายุการเก็บเนื้อฝรั่งตีป่น (guava puree) เปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนในการพาจเจอร์ไรซ์ พบว่า ความดันที่ 600 MPa อุณหภูมิ 25 ^{o}C เวลา 15 นาที ทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเหลือน้อยกว่า 10 cfu/ml ส่วนค่าสี, ปริมาณเพคติน และปริมาณกรดแอสคอร์บิคไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ได้นานถึง 40 วัน โดยมีคุณภาพเหมือนตัวอย่างสด แต่การยับยั้งเอนไซม์โดยใช้ความร้อน 88-90 ^{o}C เป็นเวลา 24 วินาที จะให้ผลดีกว่าการใช้ความดันสูง นอกจากนั้นน้ำฝรั่งเข้มข้นที่ผ่านการใช้ความร้อนจะมีความหนืด ความขุ่นและสีที่เปลี่ยนไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Yen and Lin (1998) ศึกษาผลของเทคนิคความดันสูง 600 MPa อุณหภูมิ 25 ^{o}C เวลา 15 นาที ต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของสารที่ระเหยได้ (volatile components) ในน้ำฝรั่ง พบว่า ความดันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบเอสเทอร์และแอลกอฮอล์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C พบว่า สามารถเก็บรักษาได้ 30 วัน โดยมีส่วนประกอบของสารดังกล่าวใกล้เคียงกับตัวอย่างสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved