บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะม่วง

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดี กลิ่นหอมและให้คุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเป็นแหล่งที่มีสารอาหารซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น คาร์โบไฮเดรต และมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี สารประกอบฟีนอล และแคโรทีนอยด์ ซึ่งร่ายกายสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ (USDA, 2008) ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ในผลมะม่วงพันธุ์ 'Alphonoso' พบว่ามีเบต้า-แคโรทีนมากถึง 60% ของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์ต่างๆ แสดงดังในตาราง 2.1 นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อมะม่วงมีปริมาณของเส้นใยสูงอีกด้วย (Litz, 2000)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อมะม่วงพันธุ์ต่าง ๆ

No.	Cultivars	TSS (%)	pH	Acidity (%)	Reducing Sugar (%)	Total sugar (%)	Carotenoids (µg/100g)	Vitamin C (mg/100g)	Viscosity (centripoise)
1	Haden	18.90	4.90	0.22	3.50	16.22	-	32.10	-
2	Irwin	16.70	4.50	0.12	6.00	13.71	9,212	45.70	-
3	Kesar	17.53	4.20	0.36	4.40	12.57	6,795	3.47	5,210
4	Keitt	18.40	4.80	0.11	4.46	13.60	5,902	13.90	-
5	Kent	21.00	-	0.12	5.50	20.90	927	23.50	-
6	Langra	19.13	4.31	0.31	4.27	13.37	7,222	136.50	8,240
8	Sensation	15.70	4.40	0.15	4.30	13.30	-	55.00	-

(ที่มา: Lakshminarayana, 1980; Litz, 2000)

มะม่วงในประเทศไทยมีมากมายหลากหลายพันธุ์ มีทั้งพันธุ์สำหรับบริโภคผลดิบ ซึ่งมีรสหวานมันเมื่อผลแก่จัด เช่น เขียวเสวย แรด พิมเสนมัน ทองคำ เขียวไก่กา ฟ้าลั่น และหนองแซง เป็นต้น และมะม่วงสำหรับบริโภคผลสุก ซึ่งผลมะม่วงนี้จะมีรสเปรี้ยวขณะที่ผลยังดิบอยู่ เช่น อกร่อง น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน และพิมเสน เป็นต้น (ภูวนาท, 2545)

เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีกระบวนการสุกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสูญเสียคุณภาพได้ง่ายในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์หรือแมลงเข้าทำลาย และผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้วจะยังคงมีกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ ทำให้สารอาหารและสารประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ถูกเมแทบอไลต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จนกระทั่งเสื่อมสภาพและเน่าเสียไปในที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารต่างๆ จะส่งผลต่อคุณภาพดังนี้

1. ไฮโดรไลซิสทางชีวเคมี (biochemical hydrolysis) ของสตาร์ชและการสะสมน้ำตาล
2. ปริมาณกรดอินทรีย์ลดลง
3. มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกระบวนการหายใจ
4. มีการสูญสียคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์สารสีเหลืองหรือสีแดง ซึ่งขณะผลยังไม่แก่สารสีเหล่านี้อาจถูกปิดบังโดยคลอโรฟิลล์ที่มีสีเขียว
5. เกิดการอ่อนตัวของเนื้อผลไม้ โดยเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบเพกทินซึ่งยึดเซลล์เข้าด้วยกัน
6. สูญเสียความต้านทานต่อการเข้าทำลายจากจุลินทรีย์

ดังนั้นการผลิตมะม่วงในทางการค้าที่มีการแข่งขันสูงทั้งตลาดภายในและตลาดต่างประเทศ ผู้ผลิตและผู้ส่งออกจะต้องมั่นใจในคุณภาพของสินค้าเมื่อถึงมือผู้บริโภค โดยมีคุณภาพที่ดีและมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของตลาด ซึ่งจัดเป็นหัวใจสำคัญของการส่งออกผลมะม่วง แต่มีหลายสาเหตุที่ทำให้ผลมะม่วงมีคุณภาพต่ำและไม่เป็นไปตามความต้องการของตลาด ดังนั้นระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ขนาดและคุณภาพของผลมะม่วง และการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมะม่วง (Léchaudel and Joas, 2007)

2.2 มะม่วงพันธุ์มหาชนก

มะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นมะม่วงที่มีคุณลักษณะเด่นในด้านของกลิ่น คือมีกลิ่นหอมอยู่ที่เปลือกและเนื้อ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดึงดูดให้ผู้บริโภคมีความชอบรสชาติของมะม่วงสายพันธุ์นี้ โดยได้ชื่อว่าเป็น “Exotic tropical fruit” และยังมีรูปทรงที่ดี เปลือกหนา จึงช่วยให้การจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยวกระทำได้ง่ายกว่าพันธุ์อื่น โดยลดปัญหาการช้ำในระหว่างขนส่ง การเกิดโรคแอนแทรกโนสและขั้วผลเน่า ทำให้มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นจุดแข็งในการแข่งขันในตลาดการส่งออกผลมะม่วง (กาญจนา, 2550)

ปัจจุบันมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นที่ยอมรับในตลาดญี่ปุ่นในรูปของเนื้อมะม่วงแช่เยือกแข็ง และตลาดในยุโรปในรูปของผลมะม่วงสด เนื่องจากให้ผลดีทั้งปริมาณและคุณภาพ มีรูปทรงที่ดี รสชาติอร่อย เมล็ดมีขนาดเล็ก ทำให้มีส่วนของเนื้อที่บริโภคได้มากถึง 79% ของน้ำหนักผล จึงทำให้มะม่วงพันธุ์มหาชนกมีสมบัติที่ดีเหมาะสมทั้งการนำไปบริโภคผลสดและแปรรูปในระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุตสาหกรรม ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของมะม่วงพันธุ์มหาชนก คือการเก็บกี่ยวผลที่มีระยะความแก่พอดี การจัดการที่ดีภายหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ผลมะม่วงมีคุณภาพสม่ำเสมอและมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของตลาด (นิทยา, 2546)

2.3 การแปรรูปและส่งออกมะม่วง

มะม่วงสามารถนำมาบริโภคผลสดหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น น้ำมะม่วงเข้มข้น แยมมะม่วง วุ้นมะม่วง มะม่วงกวน และเนื้อมะม่วงบรรจุกระป๋อง สำหรับผลมะม่วงดิบสามารถนำมาทำดองเค็ม ดองหวาน หรือใช้เป็นเครื่องปรุงอาหารได้ (ภูวนาท, 2545) โดยพบว่ามีการขยายตลาดการส่งออกเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี individually quick frozen (IQF) มากขึ้น และนำมาใช้เป็นส่วนผสมในโยเกิร์ต ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์เบเกอรี และฟรุ๊ตสลัด เป็นต้น (Litz, 2000) และในไต้หวันผู้บริโภคนิยมแปรรูปผลมะม่วงดิบหั่นชิ้นแบบฝานครึ่งผล แล้วนำชิ้นเนื้อมะม่วงมาจุ่มในสารละลายเกลือความเข้มข้น 2% เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วจุ่มในน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส (Wu *et al*., 2005)

ประเทศไทยถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีการส่งออกผลมะม่วงสุกมากที่สุด โดยมะม่วงพันธุ์ที่ส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นเป็นครั้งแรก คือมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน และปัจจุบันมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นพันธุ์ที่ส่งออกไปยังตลาดญี่ปุ่นและถูกจัดอยู่ในกลุ่มมะม่วงที่มีคุณภาพสูง นอกจากนี้ ยังพบว่ามะม่วงไทยได้รับการยอมรับจากประเทศในยุโรปมากขึ้น เนื่องจากได้เปรียบในเรื่องของรสชาติ กลิ่น และรูปลักษณ์ โดยพันธุ์มะม่วงที่มีการส่งออกในปริมาณมากคือ พันธุ์น้ำดอกไม้สีทองและพันธุ์มหาชนก (กาญจนา, 2550) การส่งออกผลมะม่วงในทางการค้าจะต้องมีวิธีการขนส่งที่เหมาะสม เนื่องจากมะม่วงจะมีกระบวนการสุกและสูญเสียคุณภาพอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยอาจเกิดจากโรคและการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ และความไวต่อการเสื่อมสภาพ จึงทำให้ระยะเวลาในการขนส่งผลมะม่วงสดมีระยะเวลาจำกัด (Panhwar, 2005)

2.4 ลิ้นจี่

ลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn.) มีถิ่นกำเนิดทางตอนใต้ของประเทศจีน จัดอยู่ในพืชสกุล *Sapindaceae* และยังมีพืชที่อยู่ในสกุลเดียวกันกับลิ้นจี่ ได้แก่ เงาะ (*Nephelium lappaceum* L.) และลำไย (*Dimocarpus longan* Lour.) ลิ้นจี่เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนจนถึงกึ่งเขตร้อน โดยพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกมากในประเทศไทย แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มพันธุ์ที่ปลูกในที่ลุ่มภาคกลาง เช่น พันธุ์ค่อม เขียวหวาน แห้วจีน และพันธุ์ทิพ เป็นต้น และกลุ่มที่สอง คือกลุ่มพันธุ์ที่ปลูกในที่ดอนเขตภาคเหนือ เช่น พันธุ์ฮงฮวย โอเฮียะ กิมเจ็ง จักรพรรดิ เป็นต้น (รัตนาและนิธิยา, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิ้นจี่จัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric fruit ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจะกระทำเมื่อผลลิ้นจี่เจริญเติบโตเต็มที่และอยู่ในระยะสุกที่สมบูรณ์ โดยใช้ลักษณะที่ปรากฏภายนอกและความเหมาะสมที่จะนำมาบริโภคเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถวัดคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่ได้จากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ รวมถึงน้ำตาลซูโครส ฟรักโทส และกลูโคสที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างกระบวนการสุก และการวัดปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ โดยพบว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมด มีความสัมพันธ์กับคุณภาพการบริโภค (quality eating) ของเนื้อลิ้นจี่ ส่วนที่บริโภคได้ของผลลิ้นจี่คือ เนื้อผลภายหลังแกะเปลือกออก ซึ่งมีลักษณะสีขาวขุ่น เนื้อผลลิ้นจี่นี้มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอม และมีส่วนประกอบของสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แสดงดังในตารางที่ 2.2 (Ray, 1998; Shah and Nath, 2008)

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สด

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ
โปรตีน (%)	0.9
ไขมัน (%)	0.1
คาร์โบไฮเดรต (%)	13.1
- น้ำตาลฟรักโทส	1.6-3.1
- น้ำตาลกลูโคส	5.0
- น้ำตาลซูโคส	8.5
เส้นใยอาหาร	0.1
แร่ธาตุต่างๆ (มิลลิกรัม/100 กรัม)	
- แคลเซียม	7.0
- ฟอสฟอรัส	41.0
- เหล็ก	1.3
วิตามิน (มิลลิกรัม/100กรัม)	
- วิตามินบีหนึ่ง	0.11
- วิตามินบีสอง	0.04
- ไนอะซิน	0.3
- วิตามินซี	167.0

(ที่มา: Salunkhe and Kadam, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลลิ้นจี่สุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 13-20% ซึ่งเป็นปริมาณที่รวมของน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรักโทส นอกจากนี้ยังมีกรดแอสคอร์บิกที่มีปริมาณมากถึง 40-100 มิลลิกรัม/100 กรัมของเนื้อลิ้นจี่ (Sonali *et al*., 2001)

เนื่องจากผลลิ้นจี่มีอายุการเก็บรักษาสั้นภายหลังเก็บเกี่ยวออกมาจากต้น เปลือกของผลลิ้นจี่จะเริ่มแห้งและเกิดสีน้ำตาลในระยะเวลาเพียง 1-2 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการเกิดสีน้ำตาลนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เปลือกของผลลิ้นจี่ จึงมีงานวิจัยหลายเรื่องที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ ได้แก่

- ชะลอการแห้งของเปลือกผลลิ้นจี่ โดยควบคุมสภาวะในการเก็บรักษาซึ่งเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ความชื้น และสภาวะบรรยากาศดัดแปร
- ลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมี
- ลดการปนเปื้อนและควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ (Ghosh *et al*., 2000)

2.5 ลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย

ลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย (*Litchi Chinensis* Sonn. cv. Hong Huay) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกทางตอนเหนือของประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่การปลูกลิ้นจี่พันธุ์นี้มากถึง 70% ของพื้นที่ที่ใช้เพาะปลูกลิ้นจี่ทั้งหมด มีลักษณะเด่นคือ ให้ผลผลิตปริมาณมาก มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว และมีปริมาณการส่งออกประมาณ 10% ของปริมาณผลผลิตลิ้นจี่ที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยส่งออกไปยังประเทศมาเลเซีย ฮ่องกง สิงคโปร์ และประเทศในยุโรป (Sethpakdee, 2002)

การเจริญเติบโตของผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาด น้ำหนัก และปริมาตรของผล โดยผิวเปลือกของผลลิ้นจี่จะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวแถบเหลืองเป็นสีแดงเมื่ออายุได้ประมาณ 8 สัปดาห์หลังติดผล และใช้เวลาอีกประมาณ 4 สัปดาห์ จึงจะเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งผล และในขณะเดียวกันปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลและกรดนี้มีความสัมพันธ์กับขนาดของผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Sethpakdee, 2002; Papademetriou and Dent, 2002)

2.6 การแปรรูปและส่งออกผลลิ้นจี่สดและผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

ผลลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่เปลือกมีสีแดง กลิ่นของเนื้อและรสชาติเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค จึงทำให้การส่งออกผลลิ้นจี่ในแต่ละปีมีจำนวนมาก แต่การส่งออกผลลิ้นจี่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการขนส่ง ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิของผลลิ้นจี่ในระหว่างการขนส่งจะช่วยชะลอการสูญเสียคุณภาพ โดยช่วยลดการสูญเสียความชื้นและการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลิ้นจี่ได้ ทั้งนี้อุณหหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและขึ้นอยู่กับพันธุ์ของผลลิ้นจี่ โดยทั่วไปอุณหภูมที่เหมาะสมใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษาผลลิ้นจี่จะอยู่ในช่วง 1-5 องศาเซลเซียส (Jiang *et al*., 2003) และการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและสูญเสียน้ำน้อยมาก (Olesen and Wiltshire, 2000)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่จะต้องนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ หรือใช้วิธีการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น เช่น การทำเนื้อลิ้นจี่แช่เยือกแข็ง เนื้อลิ้นจี่อบแห้ง และเนื้อลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องหรือขวดแก้ว เป็นต้น (รัตนา และนิธิยา, 2546) การแปรรูปเนื้อลิ้นจี่โดยการแยกเปลือกและเมล็ดออกและนำไปแช่เยือกแข็งจะช่วยลดปัญหาการสูญเสียคุณภาพเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกลิ้นจี่และการแตกของผลได้ (Wu *et al*., 2005; Shah and Nath, 2008) และยังช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและการสูญเสียรสชาติของเนื้อลิ้นจี่ ดังนั้นการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการช่วยชะลอการสูญเสียคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่ได้ (Paull and Chen, 1987; Menzel and Waite, 2005)

2.7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้สดหั่นชิ้น

ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการผลไม้สดหั่นชิ้นพร้อมบริโภคในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยให้ความสนใจในเรื่องของการเลือกสรรอาหารที่มีคุณภาพ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติ นอกจากนี้ยังคำนึงคุณค่าทางโภชนาการเพื่อให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ เช่น วิตามินซี วิตามินบีหนึ่ง ไนอะซิน แร่ธาตุ และเส้นใยอาหาร เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคขาดสารอาหารต่างๆ (Martin *et al*., 2002) รวมถึงความปลอดภัยของอาหารจากจุลินทรีย์และความสะดวกในการบริโภค ดังนั้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค จึงได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเนื้อผลไม้สดหั่นชิ้นเพื่อให้สามารถรักษาคุณภาพเอาไว้ได้ใกล้เคียงกับผลไม้สด (Kader, 2002)

การผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้มีการปรับปรุงในเรื่องของกระบวนการผลิตผลไม้สดหั่นชิ้น ตั้งแต่ขั้นตอนการจัดเตรียมวัตถุดิบ การคัดเลือกวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี ซึ่งคัดแยกได้จากลักษณะปรากฏภายนอก สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และชีววิทยา รวมทั้งการเลือกใช้วิธีการจัดการที่เหมาะสมในกระบวนการทำความสะอาด การล้าง การตัดแต่ง การแยกเอาไส้หรือแกนหรือเมล็ดออก การหั่นชิ้น การหั่นฝอย และการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้สดพร้อมบริโภค ในระหว่างการวางจำหน่ายไปจนถึงกระบวนการเก็บรักษาในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งกระบวนการต่างๆ เหล่านี้เป็นการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและสามารถรักษาความสดคุณค่าทางโภชนาการ และให้ความสะดวกต่อการนำไปบริโภค (Cantwell and Suslow, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการจัดการผลิตภัณฑ์ผลไม้สดหั่นชิ้น มีวัตถุประประสงค์เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากกระบวนการผลิตจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ดังนั้นจึงควรมีการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปรับปรุงผลไม้สดหั่นชิ้นให้ดียิ่งขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

- **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านสี** เนื่องจากผลไม้สดภายหลังการหั่นชิ้นจะเกิดสีน้ำตาลที่ผิว เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลกับออกซิเจนในอากาศ ภายหลังการเกิดบาดแผล ซึ่งเป็นลักษณะที่ปรากฏของผลไม้สดหั่นชิ้นที่ผู้บริโภคเห็นได้ชัดที่สุด และยังมีอิทธิพลมากที่สุดต่อการตัดสินใจซื้อ เช่น ผลสาลี่หั่นชิ้นขนาดเล็กมีการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าผลสาลี่ที่หั่นชิ้นขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออก-ซิเดส (Gorny *et al*., 2000)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เนื้อของผลไม้จะต้องประกอบไปด้วย แก๊สออกซิเจน สารประกอบฟีนอล และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสหรือเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ดังนั้นการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- การใช้ความร้อนยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์
- การกำจัดสารตั้งต้นซึ่งได้แก่ สารประกอบฟีนอลและออกซิเจน
- ปรับค่าพีเอชให้ต่ำลง เพื่อให้ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์
- การใช้สารยับยั้งการรวมตัวของเมลานิน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังการเกิดปฏิกิริยา (Ohlsson and Bengtsson, 2002)

- **การเพิ่มความแน่นเนื้อ** การอ่อนนิ่มลงของเนื้อผลไม้ภายหลังการหั่นชิ้น จะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา ทั้งนี้การสูญเสียคุณภาพดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา การปรับปรุงความแน่นเนื้อสามารถทำได้โดยการจุ่มเนื้อผลไม้สดหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ โดยแคลเซียมไอออนจะสร้างพันธะกับหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของสารประกอบเพกทิน จึงทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น (Lamikanra, 2002) เช่น การจุ่มเนื้อมะละกอหั่นชิ้นหรือผลสตรอเบอรี่ทั้งผลในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อและมีปริมาณของแคลเซียมสูงกว่าชุดควบคุมที่จุ่มในน้ำเปล่า (Rosen and Kader, 1989; Mahmud *et al*., 2008) และการจุ่มเนื้อสับปะรดหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อและลดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ในระหว่างการหลอมละลาย (Chauhan *et al*., 2008)

- **การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติ** เนื่องจากเป็นลักษณะสำคัญที่ผู้บริโภคใช้พิจารณาคุณภาพของผลไม้สดหั่นชิ้น ซึ่งกลิ่นและรสชาติจะเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำตาล (กลูโคส ฟรักโทสและซูโครส) กรดอินทรีย์ และสารประกอบที่ระเหยได้ และยังรวมถึงสารประกอบฟีนอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และแทนนิน โดยวิธีการที่นิยมใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินรสชาติของผลไม้คือ อัตรส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมด เช่น เนื้อแอปเปิลหั่นชิ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ามีค่าพีเอชลดลงและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจึงลดลง ทำให้รสชาติเกิดการเปลี่ยนแปลง (Bett *et al*., 2001) ส่งต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านนี้ อาจมีสาเหตุมาจากการสูญเสียสารที่ให้รสชาติในระหว่างกระบวนการผลิต เนื่องจากเกิดการสูญเสียสภาพของโครงสร้างเนื้อเยื่อที่มีผลต่อการรั่วซึมของสารต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น แวคิวโอล ไซโตพลาสซึม เอนไซม์ และสารตั้งต้น ซึ่งการรั่วซึมของน้ำตาลจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีร-วิทยาในเนื้อเยื่อของผลไม้ และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เนื้อผลไม้ ซึ่งทำให้สูญเสียรสชาติ การนิ่มของเนื้อผลไม้อย่างรวดเร็ว และเกิดการหดตัว ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลไม้สดหั่นชิ้นสั้นลง เช่น ผลแอปเปิลและกล้วยจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการหั่นชิ้นและในระหว่างการเก็บรักษา หรือเกิดการเน่าเสียเนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ภายหลังการบรรจุ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (John and Baldwin, 2002; Lamikanra, 2002)

การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติของผลไม้สดหั่นชิ้น อาจเป็นผลมาจากการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เช่น การใช้เกลือแคลเซียม กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก หรือแอสคอร์เบต ถึงแม้ว่าแคลเซียมคลอไรด์จะช่วยรักษาความแน่นเนื้อโดยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส แต่อาจทำให้เกิดรสชาติผิดปกติ เช่น การจุ่มเนื้อแคนตาลูปหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 0.5% ทำให้เนื้อมีรสชาติขม (Lamikanra and Watson, 2004) การป้องกันการสูญเสียกลิ่นและรสชาติของเนื้อผลไม้โดยการเก็บรักษาในภาชนะที่มีการควบคุมสภาพบรรยากาศที่เหมาะสม เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำ แต่ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน แล้วมีการผลิตเอทานอลและแอซีทัลดีไฮด์ ทำให้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Gorny *et al*., 2002)

- **คุณค่าทางโภชนาการ** เนื่องจากผลไม้เป็นแหล่งของสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีส่วนประกอบของวิตามินหลายชนิด แร่ธาตุ และเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะวิตามินซีที่พบมากในผลส้ม ผลกีวี มะเขือเทศสุก และพืชตระกูลแตง และยังมีแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ให้สีเหลืองในเนื้อมะม่วงและมะละกอสุกซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอในร่างกายได้ (Shieber *et al*., 2000; Djioua *et al*., 2008) ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ของเนื้อมะม่วง ได้แก่ การสัมผัสกับออกซิเจน หมู่เพอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ และแสง (Van den Berg *et al*., 2000) สำหรับแอปเปิลและสาลี่เป็นแหล่งของผลไม้ที่ให้เส้นใยสูง การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเตรียม เช่น การล้างผลไม้สดหั่นชิ้นด้วยน้ำเปล่าภายหลังหั่นชิ้น ทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าผลกีวีหั่นชิ้นมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาสูงขึ้น (Agar *et al*., 1999) และการจุ่มเนื้อมะม่วงพันธุ์ 'Kent' หั่นชิ้นในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกความเข้มข้น 1% แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% และกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% สามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลในเนื้อมะม่วงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณไม่แตกต่างกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Robles-Sanchez *et al*., 2008)

การรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้สดหั่นชิ้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการควบคุมสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพซึ่งมี 2 ปัจจัย คือ การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส (PME) เอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนส (PG) เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (POD) และเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (LOX) ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี เนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติ ซึ่งเอนไซม์พอลิฟีนอล-ออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ผิวของผลไม้ภายหลังกระบวนการหั่นชิ้น เช่น แอปริคอต แอปเปิล และสาลี่ (Hansche and Boyton, 1986; Ohlsson and Bengtsson, 2002) และอีกปัจจัยคือ การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นพิษและทำให้อาหารเน่าเสีย โดยจะเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ตั้งแต่ขั้นตอนการปอกเปลือกและการหั่นชิ้นผลไม้ รวมทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและบรรจุภัณฑ์ที่จำกัดการผ่านเข้า-ออกของอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยและคุณภาพของอาหาร

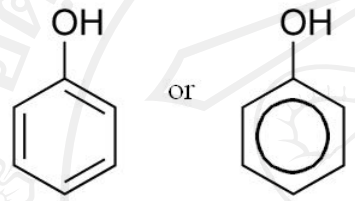
2.8 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลไม้

การเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้สดหั่นชิ้นจะมีผลกระทบต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาอย่างมาก โดยในระหว่างการปอกเปลือกและหั่นชิ้นจะทำให้เซลล์ภายในเนื้อเยื่อถูกทำลาย ส่งผลให้สารต่างๆ รวมทั้งเอนไซม์กระจายตัวอย่างอิสระและสัมผัสกับสารตั้งต้น จึงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้ ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้ ได้แก่ พอลิฟีนอลออกซิเดส พบมากในผลไม้ เช่น กล้วย แอปเปิล อะโวกาโด และสาลี่ (Barrett *et al*., 2005)

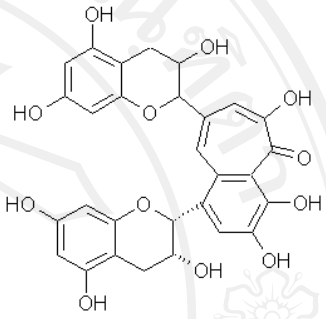
การเกิดสีน้ำตาลในผลไม้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลหรือพอลิฟีนอล (รูปที่ 2.1 และ 2.2) ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่พบในพืช เช่น ผักและผลไม้ โดยปฏิกิริยาเริ่มจากการที่สารประกอบ มอโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ โดยมีเอนไซม์เร่งให้เกิดปฏิกิริยาแล้วได้สาร *ออร์โท*-ควิโนน และสารควิโนนที่เกิดขึ้นนี้จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รวมตัวกันหรือรวมตัวกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล จึงทำให้เห็นเป็นสีน้ำตาลที่เนื้อเยื่อของผลไม้ภายหลังการปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้น นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติของพืชด้วย เอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสและพอลิฟีนอลออกซิเดส (Underhill and Critchley, 1994; Barrett *et al*., 2005)



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของฟีนอล
(ที่มา: Eadington, 2000)

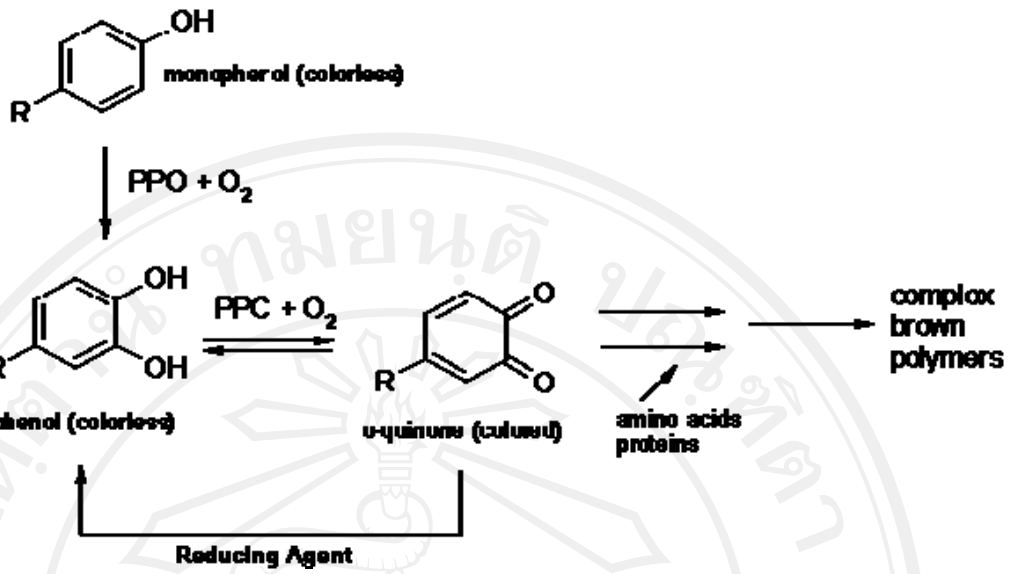


รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของพอลิฟีนอล
(ที่มา: Eadington, 2000)

2.9 เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

พอลิฟีนอลออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่พบครั้งแรกในเห็ด และมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ภายในเซลล์พืชจะอยู่ในส่วนของพลาสติดและคลอโรพลาสต์ และอยู่อย่างอิสระในไซโตพลาสซึมของพืชที่มีการสุกหรือเสื่อมสภาพเนื่องมาจากการปอกเปลือกและการหั่นชิ้น เอนไซม์ชนิดนี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในผลไม้ โดยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สารประกอบมอโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้ผลิตภัณฑ์ที่รวมตัวกันเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ส่งผลต่อคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้ (Whitaker, 1993; Miyawaki, 2006) ตัวอย่างเช่น การเกิดสีน้ำตาลของผลท้อหั่นชิ้น พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสสูงขึ้น เนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อภายหลังการหั่นชิ้นที่ทำให้ความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่าน (permeabllity) ของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นได้เป็นสารสีน้ำตาล (Li-Qin *et al*., 2008) (รูปที่ 2.3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส
(ที่มา: Kahn and Andrawis, 1985)

2.10 เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส

เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์อีกชนิดหนึ่งที่พบในเนื้อเยื่อผักและผลไม้หลายชนิด โดยพบว่ามีปริมาณมากในผลไม้ที่อยู่ในระยะเจริญเติบโตและมีกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์สูง และเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของรสชาติ สี และเนื้อสัมผัส (Sugai and Tadini, 2006) โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสอยู่ในช่วง 5-7 (Yemenicioglu *et al*., 1999) การเกิดปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสเริ่มจากการเสียสภาพของเยื่อหุ้มภายในเซลล์ของพืช ทำให้เยื่อหุ้มสูญเสียความคงตัวและประสิทธิภาพในการเป็นเยื่อเลือกผ่านลดลง ส่งผลให้เกิดการรั่วซึมของสารต่างๆ ภายในเซลล์ หลังจากนั้นเอนไซม์จะสัมผัสกับสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เนื้อผล (You *et al*., 2007) ดังนั้น การรักษาสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ให้แข็งแรงและมีความคงตัวสูง เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ในผลไม้สดหั่นชิ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวจำเป็นจะต้องมีไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือสารอินทรีย์ที่มีหมู่ของเพอร์ออกไซด์ในการไปออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอล (Williams *et al*., 1986; Clemente, 2002) การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แบ่งออกเป็น 4 ลักษณะตามชนิดของสารตั้งต้น (Whitaker, 1993) แสดงดังสมการ

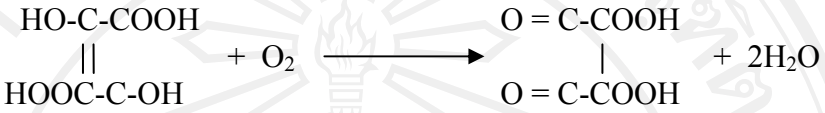
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. Peroxidatic reaction

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

โดยมีสารตั้งต้นคือสารประกอบฟีนอล เช่น กัวอิคอล (guaiacol), *พารา*-ครีซอล (*p*-cresol) และรีซอร์ซินอล (resorcinol) ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น (ปราณี, 2543)

2. Oxidatic reaction



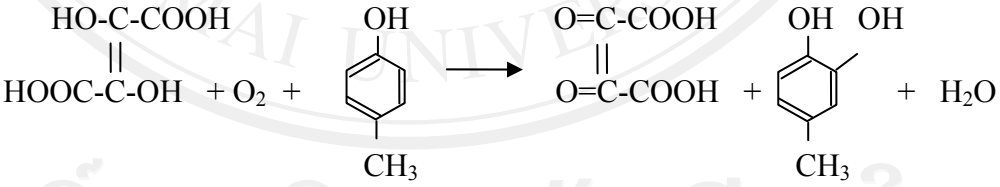
ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเมื่อมีโมเลกุลของออกซิเจน โดยมีสารตั้งต้นเป็นสารประกอบพวกกรดแอสคอร์บิก ไฮโดรควิโนน และกรดไดไฮดรอกซีฟูมาริก เป็นต้น

3. Catalytic reaction

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ขาดสารที่ให้ไฮโดรเจนและเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสจะทำหน้าที่แทนเอนไซม์คะตะเลส โดยเปลี่ยนไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ได้เป็นน้ำและออกซิเจน

4. Hydroxylation



เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสสามารถเร่งปฏิกิริยาการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ให้สารที่มีโครงสร้างวงแหวน เช่น *พารา*-ครีซอล (*p*-cresol) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) กรดเบนโซอิก (benzoic acid) และกรดซาลิไซลิก (salicylic acid)

เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความเสถียรต่อความร้อนสูง จึงใช้เอนไซม์ชนิดนี้เป็นตัวชี้บ่งประสิทธิภาพในการลวกผักและผลไม้ และกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหาร ซึ่งการทำลายเอนไซม์ชนิดนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและสารให้กลิ่นในอาหาร (Al Ogaïdi and Mutlak, 1986; Mustapha and Ghalem, 2007) เช่น การพาสเจอร์ไรซ์น้ำมะม่วงเข้มข้นโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 85 องศาเซลเซียส สามารถทำลายเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ (Sugai and Tadini, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์และปรับปรุงคุณภาพของผลไม้สดหั่นชิ้น

การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากเอนไซม์ของเนื้อผลไม้สดหั่นชิ้น สามารถควบคุมได้ทั้งวิธีทางกายภาพและเคมี ดังนี้

2.11.1 การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การลดอุณหภูมิและลดการสัมผัสกันระหว่างเนื้อผลไม้กับแก๊สออกซิเจน

ก. การลดอุณหภูมิและการแช่เยือกแข็งผลไม้

การควบคุมอุณหภูมิของผลไม้สดช่วยให้การตอบสนองต่อบาดแผลของเนื้อผลไม้ภายหลังการปอกเปลือกและหั่นชิ้นลดลง และลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย จึงทำให้ผลไม้สดหั่นชิ้นมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้อัตราการหายใจ กิจกรรมของเอนไซม์ และกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ลดลง การเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำถูกนำมาใช้ในการเก็บรักษาพืช เช่น บรอคโคลี เบอร์รี่ ผักขม สาลี่ กล้วย มะม่วง และอะโวกาโด เป็นต้น (Barbosa-Canovas *et al*., 2005)

การแช่เยือกแข็งอาหารจะช่วยชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอาหาร เช่น การแช่เยือกแข็งเนื้อมะม่วงหั่นชิ้น แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสลงได้ 20% เมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมของเอนไซม์ของผลมะม่วงสดเริ่มต้น และยังพบว่าไม่มีการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง (Marin *et al*., 2005) แม้ว่าการเก็บรักษาผลไม้สดหั่นชิ้นที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสถูกยับยั้ง แต่ควรมีการเลือกใช้วิธีแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมกับวัตถุดิบ เนื่องจากกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้จะส่งผลต่อคุณภาพของผลไม้ภายหลังการหลอมละลาย ซึ่ง Kader (2006) ได้รายงานว่าปัจจัยที่ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่สำคัญที่สุดคือ อุณหภูมิ และช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 2-5 องศาเซลเซียส (36-41 องศาฟาเรนไฮต์)

การเก็บรักษาผลไม้ด้วยวิธีแช่เยือกแข็งส่วนใหญ่จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ระยะการสุก และภาชนะบรรจุที่ใช้ อย่างไรก็ตาม ภายหลังการหลอมละลายผลไม้แช่เยือกแข็งแล้ว กิจกรรมของเอนไซม์สามารถกลับมาทำงานได้อีก (Barbosa-Canovas *et al*., 2005)

ข. การเก็บรักษาผลไม้สดหั่นชิ้นโดยลดการสัมผัสกับแก๊สออกซิเจน

การบรรจุผลไม้สดภายหลังกระบวนหั่นชิ้นในภาชนะบรรจุเป็นการป้องกันและลดการสัมผัสกันระหว่างผลไม้กับแก๊สออกซิเจน โดยจำกัดการผ่านเข้า-ออกของอากาศ ดังนั้น การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์จึงมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้สดในระหว่างการเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษา เนื่องจากเป็นการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลภายหลังการสัมผัสกับแก๊สออกซิเจน เช่น การบรรจุมันฝรั่งในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศภายหลังการปอกเปลือก พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (Rocha *et al*., 2003) อย่างไรก็ตาม การกำจัดแก๊สออกซิเจนในปริมาณที่มากเกินอาจเหนี่ยวนำให้เกิดสภาวะการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของเซลล์แตกออกและเกิดกลิ่นผิดปกติ (Soliva-Fortuny *et al*., 2002)

การเก็บรักษาผลไม้สดแช่เยือกแข็งโดยบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีสมบัติในการป้องกันการสูญเสียความชื้นและสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ในผลไม้ และยังช่วยลดการสัมผัสกันระหว่างผลไม้กับแก๊สออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรง ทนต่อแรงเจาะ และอุณหภูมิที่ต่ำมาก จึงสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งตลอดกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ตัวอย่างเช่น การบรรจุผลราสเบอรี่ในถุงพอลิเอทิลีนภายหลังการแช่เยือกแข็ง ก่อนนำไปเก็บรักษาเป็นต้น (Jenkins, 1991; Lee, 2006)

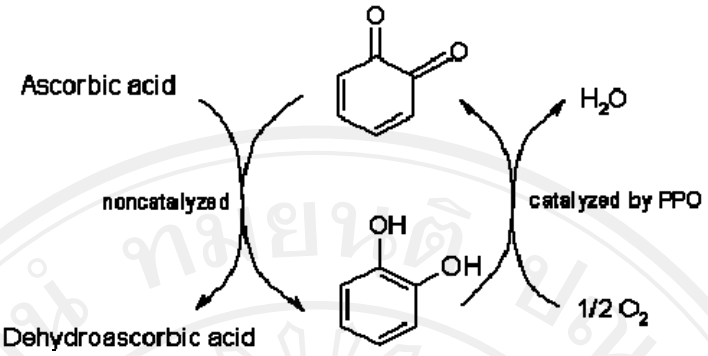
2.11.2 การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โดยตรง การกำจัดสารตั้งต้น (แก๊สออกซิเจนและสารประกอบฟีนอล) ซึ่งสารเคมีที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก แคลเซียมแอสคอร์เบต แคลเซียมคลอไรด์ และซีสเตอีน เป็นต้น จึงได้มีการนำเนื้อผลไม้มาจุ่มลงในสารละลายของสารดังกล่าวภายหลังการหั่นชิ้น (Garcia and Barrett, 2002)

สารละลายที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้สดหั่นชิ้นเพียงชนิดเดียว ไม่สามารถนำมาใช้กับผลไม้ได้ทุกชนิด แต่ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชนิดของผลไม้ (Saper and Miller, 1998; Dong *et al*., 2000; Barrett *et al*., 2005) เช่น การจุ่มเนื้อสาลี่หั่นชิ้นในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% ผสมกับแคลเซียมแล็กเทตความเข้มข้น 1% ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลและการอ่อนนิ่มของเนื้อผลไม้ได้ (Gorny *et al*., 2006) ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ดังนี้

ก. กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกเป็นสารที่นิยมใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อผลไม้สดหั่นชิ้นและผลไม้แช่เยือกแข็ง โดยสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น สาลี่และแอปเปิล เนื่องจากมีสมบัติช่วยลดปริมาณของสารควิโนน โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลก่อนที่จะรวมตัวกันและทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ดังรูปที่ 2.4 วิธีที่ใช้อาจจะเป็นการจุ่มในสารละลาย หรืออาจใช้ร่วมกับกรดอินทรีย์ชนิดอื่น เช่น กรดซิตริกและเกลือแคลเซียม (Jeong *et al*., 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.4 การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของกรดแอสคอร์บิกที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (ที่มา: Walker, 1977)

ตัวอย่างการใช้กรดแอสคอร์บิกในผลไม้สดหั่นชิ้น เช่น การจุ่มเนื้อแอปเปิลหั่นชิ้นในสารละลายกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.05% พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสคงที่และไม่เกิดสีน้ำตาลที่ผิวของเนื้อแอปเปิลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน (Jeong *et al*., 2008) และการจุ่มเนื้อแอปเปิลหั่นชิ้นแบบลูกเต๋าในสารละลายผสมของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.5% และกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5% ช่วยชะลอการลดลงของค่า *L ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน (Zuo *et al*., 2008) หรือการจุ่มเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นแบบลูกเต๋าในสารละลายผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 2-3 นาที ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงได้ (Kader, 2006)

ข. กรดซิตริก

กรดซิตริกได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างในอุตสาหกรรมอาหารและเป็นกรดอินทรีย์ที่อยู่ในรายการของ GRAS (generally regarded as safe) โดยยอมให้ใช้กับอาหารได้อย่างถูกกฎหมายในยุโรป โดยทั่วไปจะใช้สารละลายกรดซิตริกในช่วงความเข้มข้น 0.5-2.0% ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ (Ducamp-Collin *et al*., 2008) นอกจากนี้ยังใช้ร่วมกับสารต้านการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่นๆ ในรูปของสารละลายผสม เช่น กรดแอสคอร์บิกและกรดอีริทอร์บิก เป็นต้น กรดซิตริกสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสโดยทำให้อยู่ในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ จึงไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ (Martinez and Whitaker, 1995) ซึ่งพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของเนื้อมะเขือม่วงหั่นชิ้นลดลงที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 4.8 (Concellon *et al*., 2004) และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิ-เดสและเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสของเนื้อมะม่วงอยู่ระหว่าง 5-7 (Yemenicioglu *et al*., 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างเช่น การจุ่มผลลิ้นจี่ในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกและไคโตซาน พบว่าช่วยรักษาปริมาณของแอนโทไซยานินที่เปลือกของลิ้นจี่ได้ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้แทนซัลเฟอร์ในการรักษาคุณภาพของผลลิ้นจี่ส่งออก (Ducamp-Collin *et al*., 2008) และการจุ่มแห้วจีนที่แยกเปลือกออกและหั่นชิ้นลงในสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 0.03 โมล/ลิตร พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสลงได้ 33% เมื่อเปรียบเทียบกับผลสด และลดการสูญเสียส่วนประกอบทางเคมีและการเปลี่ยนสีที่ผิวของเนื้อ จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลแห้วจีนหั่นชิ้นได้ (Jiang *et al*., 2004) และการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมังคุดโดยจุ่มในสารละลายผสมที่มีกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5% แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.25% กรดอีริทอร์บิกความเข้มข้น 1.0% และซีสเตอีนความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 1 นาที ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง (พรพงษ์และไพรัตน์, 2550)

นอกจากนี้ยังพบว่าการจุ่มเนื้อกล้วยหั่นชิ้นในสารละลายผสมของกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร และอะเซทิลซิสเตอีน 0.05 โมล/ลิตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของเนื้อกล้วยในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน (Moline *et al*., 1999) และการจุ่มผลลำไยในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 1% และเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชที่เปลือก จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลลำไยเกิดขึ้นได้ช้าลง และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน เมื่อแยกเปลือกผลลำไยออกจากเนื้อ พบว่าเนื้อลำไยที่ได้ยังมีคุณภาพที่ดี โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำและไม่เกิดลักษณะของกลิ่นที่ผิดปกติ (Apai *et al*., 2006) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของเนื้อลำไยโดยการจุ่มเนื้อลำไยภายหลังการแยกเปลือกและเมล็ดในสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 มิลลิโมล/ลิตร เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลงเท่ากับ 16, 28 และ 41% ตามลำดับ โดยกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิ-เดสลดลงตามระดับความเข้มข้นของสาระละลายกรดซิตริกที่เพิ่มขึ้น (Pongsakul *et al*., 2006) และการจุ่มเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นพันธุ์ ‘Kent’ ในสารละลายผสมของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% กรดซิตริกความเข้มข้น 1% และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% พบว่าช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลและช่วยรักษาส่วนประกอบต่างๆ ทางเคมีของเนื้อมะม่วง เช่น วิตามินซี, เบต้า-แคโรทีน และสารประกอบฟีนอล ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน (Robles-Sanchez *et al*., 2008)

อย่างไรก็ตาม การจุ่มเนื้อผลไม้สดหั่นชิ้นในสารละลายกรดซิตริกควรเลือกใช้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมกับชนิดของผลไม้ โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น การจุ่มเนื้อแอปเปิลหั่นชิ้นหนา 1 เซนติเมตร ในสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 0.8% เป็นเวลา 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

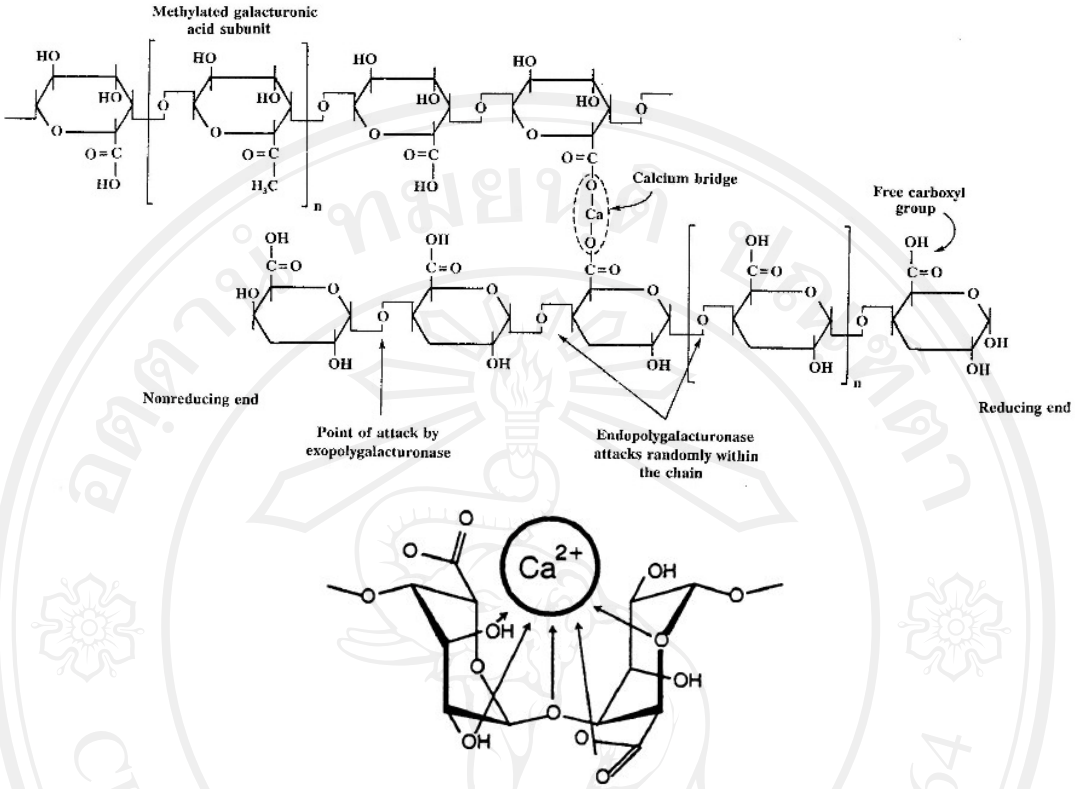
นาที ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิลได้ แต่ทำให้มีรสเปรี้ยวและความแน่นเนื้อลดลง (Bieganska-Marecik and Czapski, 2007)

ค. แคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมเป็นธาตุที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการทางสรีระวิทยาของเนื้อเยื่อพืช โดยเกี่ยวข้องกับเยื่อหุ้มผนังเซลล์และโครโมโซม และกระบวนการเมแทบอลิซึม การเติมธาตุแคลเซียมจะช่วยให้ผนังเซลล์แข็งตัว ชะลอการอ่อนนิ่มของเนื้อผลไม้ และชะลอการสุก เช่น การจุ่มเนื้อสับปะรดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อสับปะรดและชะลอการการสุกของเนื้อสับปะรดได้ (Goncalves *et al.,* 2000) แคลเซียมคลอไรด์จัดเป็นเกลือที่มีธาตุหมู่ 7 (halide salt) เป็นองค์ประกอบ จึงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ โดยคลอไรด์ไอออนสามารถรวมตัวกับหมู่ทองแดงซึ่งเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และเหล็กที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส จึงทำให้ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดลดลง นอกจากนี้ การแตกตัวของแคลเซียมคลอไรด์ยังมีผลต่อระดับความเข้มข้นของไอออนในสารละลายซึ่งจะไปมีผลต่อโครงสร้างของเอนไซม์และอาจทำให้เอนไซม์ตกตะกอนได้ เช่น การจุ่มเนื้อแอปเปิลหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลที่เนื้อได้ (Miyawaki, 2006) และการจุ่มแตงหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของเนื้อแตงได้ เนื่องจากคลอไรด์ไอออนไปมีผลทำให้เอนไซม์เสียสภาพและไม่สามารถจับกับสับสเตรตได้ (Luna-Gutzman *et al*., 1999) ซึ่งการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมอาหารโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 2-4% (Miyawaki, 2006)

แคลเซียมคลอไรด์ยังถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความแน่นเนื้อในผลไม้สดและผลไม้สดหั่นชิ้น เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งจากการศึกษาในผลสตรอเบอรี่ที่จุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าทำให้มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าผลสตรอเบอรี่ที่จุ่มในน้ำเปล่า (Rosen and Kader, 1989) โดยแคลเซียมไอออนจะสร้างพันธะกับหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของสารประกอบเพกทิน ซึ่งการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลนี้ทำให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มผนังเซลล์มีความเสถียรมากขึ้น (Chardonnet *et al*., 2003; Varela *et al*., 2007) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 การเชื่อมพันธะระหว่างแคลเซียมไอออนกับหมู่คาร์บอกซิลของสายพอลิกาแล็กทูโรเนตที่เป็นองค์ประกอบของเพกทิน

(ที่มา: Water structure and science, 2008)

การจุ่มเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อ ลดการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี และชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้ (Litz, 2000) ความสามารถในการซึมผ่านเนื้อผลไม้ของแคลเซียมไอออนยังขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของสารละลายและกรรมวิธีที่ใช้ เช่น การพ่น การจุ่ม และการใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งได้มีการทดลองเพิ่มแคลเซียมไอออนให้กับเนื้อมะละกอ โดยเปรียบเทียบการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 วิธี คือ แบบจุ่มและใช้ระบบสุญญากาศ แล้วเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส พบว่าการให้สารละลายแคลเซียมด้วยวิธีสุญญากาศที่ระดับความเข้มข้น 2.5% มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยรักษาสารอาหารในเนื้อมะละกอ คงความแน่นเนื้อ ยืดอายุการเก็บรักษา ยับยั้งการสุกและการเสื่อมสภาพได้ (Mahmud *et al*., 2008) และการจุ่มผลสตรอเบอรี่ในสารละลายผสมของเพกทินเมทิลเอสเทอเรสกับแคลเซียมคลอไรด์ภายใต้ความดันสุญญากาศเป็นเวลา 5 นาที ก่อนจะนำไปแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิก ช่วยป้องกันการสูญเสีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลสตรอเบอรี่ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง (Buggenhout *et al*., 2006a) และ Mahajan and Dhatt (2004) ได้ทดลองจุ่มเนื้อสาลี่หั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 4% แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 75 วัน พบว่าช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก 3% และลดการเกิดสีน้ำตาลที่แกนผล 5% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่จุ่มในน้ำเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงความแน่นเนื้อด้วย และการศึกษาทดลองจุ่มเนื้อแอปเปิลพันธุ์ฟูจิหั่นชิ้นแบบลูกเต๋าในสารละลายผสมที่มีแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.5% และกรดโพรพิโอนิกความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 3 นาที ช่วยรักษาคุณภาพทางด้านสี เนื้อสัมผัส และปริมาณของเพกทินในระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 16 วัน ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝน พบว่าให้คะแนนของการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน (Varela *et al*., 2007)

2.12 การเก็บรักษาผลไม้สดด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งผลไม้เป็นวิธีการเก็บรักษาที่สามารถทำได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี สามารถรักษาคุณภาพของผักและผลไม้ได้เป็นเวลานาน ซึ่งภายหลังการเก็บรักษาพบว่าคุณภาพทางด้านรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการไม่แตกต่างกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา และให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาอาหารด้วยวิธีอื่น เนื่องจากกระบวนการเก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีลดลง และชะลอกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ (Delgado and Sun, 2000) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ระยะการสุก และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ดังนั้นจึงควรมีคัดเลือกผลไม้ก่อนนำมาแช่เยือกแข็ง โดยเลือกวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี มีความแน่นเนื้อ และเลือกใช้กระบวนการจัดการที่เหมาะสม เช่น การหั่นโดยใช้มีดที่มีความคมมากจะช่วยลดการเกิดบาดแผลและความเสียหายของเนื้อเยื่อก่อนนำไปเก็บรักษา (Saltveit, 2003) และการเก็บรักษาเนื้อกีวีหั่นชิ้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 เดือน พบว่าผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อกีวีหั่นชิ้นที่มีสายพันธุ์และระยะการสุกต่างกัน ได้รับคะแนนจากผู้ทดสอบชิมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Papadopoulou and Manolopoulou, 1997) อย่างไรก็ตาม การแช่เยือกแข็งผลไม้สดอาจทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่นและรส เนื่องมาจากผลไม้บางชนิด เช่น เงาะ และสับปะรด ซึ่งมีปริมาณน้ำภายในเซลล์มาก จึงทำให้ให้โครงสร้างของเซลล์ภายในเนื้อเยื่อถูกทำลายเนื่องมาจากการก่อผลึกของน้ำแข็งจำนวนมาก จึงได้มีการลดปริมาณน้ำภายในเนื้อเยื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลไม้ลง โดยใช้วิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน หรือการจุ่มเนื้อผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (Li and Sun, 2002) เช่น การจุ่มเนื้อสับปะรดหั่นชิ้นในสารละลายน้ำตาลซูโครสก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่าปริมาณการสูญเสียของเหลวภายหลังการหลอมละลายต่ำกว่าเนื้อสับปะรดที่ไม่ได้จุ่มในสารละลาย และเนื้อสับปะรดในชุดทดลองยังได้รับคะแนนผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมากกว่าชุดควบคุมและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Charoenrein *et al*., 2006) และการลดปริมาณน้ำในเนื้อเงาะ โดยการนำเนื้อเงาะที่แยกเปลือกและคว้านเมล็ดออกแล้วนำไปจุ่มในสารละลายน้ำตาลซูโครสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นบรรจุในถุงพลาสติกเพาช์ (plastic pouch) ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน ภายหลังการหลอมละลาย พบว่าเนื้อเงาะที่ผ่านกรรมวิธีออสโมซิสมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าเนื้อเงาะในชุดควบคุม แต่มีค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 4.9-5.0 และ 0.2% ตามลำดับ และยังพบว่ามีปริมาณการสูญเสียของเหลวภายหลังการหลอมละลายในชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณน้ำภายในเซลล์ของผลไม้ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งช่วยให้จำนวนเซลล์ภายในเนื้อเยื่อผลไม้ที่ถูกทำลายเนื่องมาจากการเกิดผลึกน้ำแข็งลดลง (Lowithun and Charoenrein, 2007)

2.13 การเปลี่ยนแปลงระดับเซลล์ในระหว่างการแช่เยือกแข็งเนื้อผลไม้

ภายในเนื้อเยื่อพืชประกอบไปด้วยเซลล์ที่มีโครงสร้างของผนังเซลล์ จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์แบ่งแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน และทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในเนื้อเยื่อ ลักษณะโครงสร้างดังกล่าวนี้ จึงทำให้เกิดการแบ่งชั้นได้เป็นภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ ดังนั้นการทำปฏิกิริยาของสารละลายต่างๆ จึงขึ้นอยู่กับสมบัติของผนังเซลล์ หากผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ยังคงมีประสิทธิภาพในการทำงาน จะมีเพียงสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและน้ำเท่านั้นที่ซึมผ่านได้ (Reid and Barrett, 2005)

การก่อผลึกของน้ำแข็งภายนอกเซลล์ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งที่อัตราเร็วต่ำ จะส่งผลให้เกิดกระบวนการออสโมซิสของน้ำที่ออกมาจากเซลล์และเข้ารวมกับน้ำภายนอกเซลล์เพื่อก่อผลึกเป็นน้ำแข็ง ทำให้สารละลายภายในเซลล์มีความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะเดียวกันความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์ในส่วนที่ยังไม่แข็งจะส่งผลทำให้น้ำจากภายในเซลล์ผ่านออกไปยังภายนอกเซลล์มากขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นผลมาจากการแช่เยือกแข็งผลไม้ที่อัตราเร็วต่ำ มีการก่อผลึกน้ำแข็งอย่างช้าๆ จึงมีเวลามากพอที่น้ำจากภายในเซลล์จะเคลื่อนย้ายออกมาภายนอกเซลล์ ส่งผลให้เซลล์เกิดการหดตัวและเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย ซึ่งผนังเซลล์ที่ถูกทำลายนี้จะทำให้น้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่เคลื่อนย้ายออกจากเซลล์ไม่สามารถกลับเข้าสู่เซลล์ได้ ส่งผลให้เกิดการรั่วซึมของของเหลวภายหลังการหลอมละลาย (Reid and Barrett, 2005)

ดังนั้นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วจะสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยมีการดึงความร้อนและการก่อผลึกของน้ำแข็งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและสารละลายภายนอกเซลล์ที่ยังไม่ก่อผลึกเป็นน้ำแข็งมีความเข้มข้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ยังมีความสมดุลของสารละลายเนื่องจากมีการก่อผลึกน้ำแข็งของสารละลายภายในเซลล์เช่นกัน จึงเป็นการลดปัญหาการเคลื่อนย้ายของน้ำระหว่างเซลล์ (Reid and Barrett, 2005)

2.14 วิธีการแช่เยือกแข็งเนื้อผลไม้

วิธีการที่ใช้แช่เยือกแข็งผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งมีผลต่อขนาดของผลึกน้ำแข็ง อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งยิ่งช้าเท่าไหร่ ขนาดของการก่อผลึกน้ำแข็งก็จะยิ่งมีขนาดใหญ่ ซึ่งผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่นี้จะส่งผลต่อการเสียสภาพของเซลล์ของอาหารแช่เยือกแข็งไม่ว่าจะเป็น เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงเทคนิคที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งให้มีอัตราเร็วที่สูงขึ้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้อาหารแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งอย่างรวดเร็ว และภายหลังการหลอมละลายอาหารจะไม่เกิดการสูญเสียความแน่นเนื้อและลักษณะเนื้อสัมผัสโดยมีคุณภาพไม่แตกต่างกับวัตถุดิบเริ่มต้น (Kondratowicz and Matusevicius, 2002)

การแช่เยือกแข็งผลไม้สดในระดับอุตสาหกรรม เป็นการกำจัดความร้อนออกจากชิ้นผลไม้โดยให้ผลไม้สัมผัสกับตัวกลางที่เย็นจัด โดยมีวิธีการต่างๆ ได้แก่

1. การแช่เยือกแข็งโดยวิธี blast freezing ใน blast freezer ซึ่งใช้กลไกการถ่ายเทความร้อนของอากาศแบบการพาความร้อน (convection) โดยการเป่าอากาศเย็นลงไปที่ชิ้นผลไม้

2. ไครโอจีนิก โดยใช้สารทำความเย็นในรูปของของเหลวหรือแก๊ส วิธีนี้เป็นการเป่าสารทำความเย็น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์เหลวลงบนชิ้นผลไม้ ซึ่งมีอุณหภูมิเย็นจัดมากกว่าอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วกว่าวิธีแรก และการใช้สารทำความเย็นที่เป็นของเหลว เช่น ไนโตรเจนเหลวซึ่งมีค่า thermal density สูงกว่า โดยใช้วิธีการจุ่มเนื้อผลไม้ลงในไนโตรเจนเหลว ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ -195.5 องศาเซลเซียส (-320 ฟาเรนไฮต์) จะทำให้อาหารแข็งตัวอย่างรวดเร็วและไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่

วิธีแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิกเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี จึงกำจัดความร้อนออกไปได้ที่อัตราเร็วสูง และยังเกิดการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผิวหน้ารอยตัด (cut surface) แบบนำความร้อน (conduction) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการดึงความร้อนออกจากอาหารขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับสารทำความเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. แบบเพลตหรือแบบสัมผัสกับแผ่นความเย็น (cold surfaces in plate freezer) เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งอาหารที่นิยมใช้และมีประสิทธิภาพดี โดยอาหารที่แช่เยือกแข็งจะถูกวางบนแผ่นทำความเย็นและจะถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของอาหาร (Reid and Barrett, 2005)

ประสิทธิภาพการแช่เยือกแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นของผลไม้ เนื่องจากการแช่เยือกแข็งผลไม้ที่มีขนาดเล็ก หรือมีชิ้นเล็กๆ จะทำให้มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งได้สูง (freezing rate) จึงอาจใช้อากาศเย็นที่มีความเร็วลมสูงใน blast freezer หรือใช้ cryogenic freezer เพื่อให้เกิดการแช่เยือกแข็งแบบหน่วยย่อย (individual quick frozen, IQF)

การบรรจุผลไม้ในภาชนะบรรจุก่อนนำไปแช่เยือกแข็งจะทำให้ประสิทธิภาพในการการแช่เยือกแข็งลดลง เนื่องจากเป็นการจำกัดการถ่ายเทความร้อน ซึ่งการมีช่องว่างของอากาศภายในถุงบรรจุผลไม้จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ไม่ดี แต่การบรรจุผลไม้ในภาชนะบรรจุก่อนนำไปแช่เยือกแข็งและเก็บรักษา พบว่าช่วยลดการสูญเสียความชื้นของอาหารในระหว่างการเก็บรักษาได้ สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลไม้สดแบบแช่เยือกแข็ง โดยส่วนใหญ่จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของอาหาร เนื่องจากความร้อนถูกดึงออกด้วยความเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอาหาร และที่อุณหภูมิต่ำดังกล่าวจะช่วยทำลายหรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเน่าเสีย ซึ่งมีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา (George, 1993) เช่น ตัวอย่างการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผลแอปเปิลหั่นชิ้น โดยให้อยู่ในสภาวะเย็นตลอดกระบวนการผลิตและมีสภาวะเป็นกรดโดยจุ่มในกรดอินทรีย์หรือเกลือ เช่น กรดโพรพิโอนิกและแคลเซียมโพรพิโอเนต ซึ่งผลการทดลองพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลแอปเปิลหั่นชิ้น โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคลดลง (Pilizota and Sepers, 2004)

2.15 การแช่เยือกแข็งผลไม้ด้วยวิธีไครโอจีนิก

การแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิกเป็นเทคโนโลยีการเก็บรักษาอาหารโดยมีอัตราการดึงความร้อนออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อุณหภูมิของอาหารลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งในระยะเวลาที่สั้นมาก (Khadatkar *et al.*, 2004) เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมาก ช่วยลดการสูญเสียน้ำและการรั่วซึมของของเหลวภายหลังการหลอมละลาย ซึ่งทำให้รักษาคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสไว้ได้ เนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีปกติทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่และจะไปทำลายผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อ ส่งผลให้เกิดการรั่วซึมของเอนไซม์และน้ำออกจากเซลล์ สูญเสียน้ำหนัก มีเนื้อนิ่มเละและเสียรูปทรง (Kondratowicz and Matusevicius, 2002) สารทำความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เย็นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์หรือน้ำแข็งแห้ง ออกซิเจนเหลว และไฮโดรเจนเหลว เป็นต้น (Kirillov, 2005) โดยให้สารทำความเย็นสัมผัสกับเนื้อวัตถุดิบโดยตรงหรือผ่านชั้นบรรจุภัณฑ์ชนิดบาง เกิดการดึงความร้อนออกจากอาหารอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ การใช้ไนโตรเจนเหลวในการแช่เยือกแข็งอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำมาก (-40 ถึง -50 องศาเซลเซียส) (Inagaki, 1993) อาหารจะแข็งตัวภายในระยะเวลาสั้น ทำให้สามารถรักษาคุณภาพและชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อการเน่าเสียของอาหารได้ (Estrada-Flores, 2002)

วิธีไครโอจีนิกเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งอาหารที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ต่ำและมีความสามารถในการนำปรับใช้ได้สูง (Shaikh–and Prabhu, 2006) สำหรับข้อได้เปรียบอื่นๆ ในการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร มีดังนี้

- ปริมาณการผลิตสูงขึ้น ในขณะที่มีขนาดของเครื่องมือเท่ากัน
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และลักษณะปรากฏ และป้องกันการก่อผลึกของน้ำแข็งขนาดใหญ่ ลดการเกาะติดกันของอาหาร และลดปริมาณการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการหลอมละลาย
- ลดการสูญเสียเนื่องมาจากการระเหยออกของน้ำและการรั่วซึม จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลง
- สารสีต่างๆ ยังคงมีอยู่ปริมาณมากในผลไม้ เนื่องจากไม่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ความร้อน
- มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น (Awonorin, 1997; Ramakrishnan *et al*., 2004)

แม้ว่าการแช่เยือกแข็งอาหารจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาอาหาร อย่างไรก็ตาม การเสื่อมคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งยังคงเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากปริมาณการสูญเสียคุณภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ คุณภาพของวัตถุดิบ การจัดเตรียมวัตถุดิบก่อนนำไปทำเยือกแข็ง และเทคโนโลยีที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งอาหาร (Zhang *et al*., 2004) ซึ่งรวมถึงอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง วิธีการหลอมละลาย ระดับของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และวิธีป้องกันการเกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ในระหว่างการขนส่ง เป็นต้น (Giddings and Hill, 1978; Sebranek, 1982; Srinivasan *et al*., 1997; Boonsumrej *et al*., 2007) โดยจำแนกปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิก ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก. วิธีการแช่เยือกแข็ง

กระบวนการแช่เยือกแข็งโดยวิธีไครโอจีนิกด้วยไนโตรเจนเหลวที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร มี 3 รูปแบบ ได้แก่

- ระบบแบบจุ่ม (immersion system) เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ซึ่งยากต่อการทำเยือกแข็งแบบหน่วยย่อยและต้องการระยะเวลาในการทำเยือกแข็งสั้น (Tressler, 1968; William, 2008)
- ระบบสเปรย์ไนโตรเจนเหลว (spray of liquid nitrogen) เป็นวิธีการทำเยือกแข็งที่ใช้มากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งวิธีนี้มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถหลีกเลี่ยงการได้รับอันตรายจากการใช้ไนโตรเจนเหลว (Hui *et al*., 2004; Estrada-Flores, 2002) ซึ่งได้มีการศึกษาเปรียบเทียบอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลสตรอเบอรี่ระหว่างการแช่เยือกแข็งโดยวิธีลมเป่า (air blast freezing) กับแบบสเปรย์ด้วยไนโตรเจนเหลว พบว่าการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีสเปรย์ด้วยไนโตรเจนเหลวมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งที่สูงกว่าและสามารถรักษาคุณภาพทางด้านสี รสชาติ และเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน (Gutschmidt, 1969; Khadatkar *et al*., 2004)
- ระบบการหมุนเวียนไอด้วยไนโตรเจนเหลว (circulation of very cold nitrogen vapour) เป็นวิธีที่อาหารไม่ต้องสัมผัสกับสารทำความเย็นโดยตรง (indirect contact cryofreezer) จึงช่วยลดการเกิด cold burn และการสูญเสียน้ำ (Khadatkar *et al*., 2004)

ข. อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งอาหาร

กระบวนการแช่เยือกแข็งและการหลอมละลายมีอิทธิพลต่อลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผลไม้ โดยอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งที่ต่ำ (ต่ำกว่า 1 องศาเซลเซียส/นาที) จะมีผลต่อการเสียสภาพของไมโครไฟบริลโปรตีน ภายหลังการหลอมละลายผลไม้แช่เยือกแข็งจะทำให้ปริมาณการสูญเสียของเหลวสูง (Zaritzky, 2006) ซึ่งมีสาเหตุมาจากเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกทำลายและเกิดความแตกต่างของขนาดผลึกน้ำแข็งที่อยู่ระหว่างช่องว่างภายในเนื้อเยื่อ จึงใช้วิธีแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงสุด (ultra-high freezing rate) เช่น วิธีไครโอจีนิก ซึ่งเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ง่ายต่อการเสียสภาพของผลไม้ เช่น สตรอเบอรี่และราสเบอรี่ (Mascheroni, 2000; Agnelli and Mascheroni, 2002) หรือการแช่เยือกแข็งอาหารที่ความดันสูง (highpressure shift freezing, HPSF) ซึ่งจะทำให้การก่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กและกระจายตัวทั่วทั้งอาหารอย่างสม่ำเสมอ วิธีการดังกล่าวยังนำมาใช้กับเนื้อมะม่วงและสาลี่ (Otero *et al*., 2000) ทั้งนี้ อัตราเร็วในการแช่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เยือกแข็งผักและผลไม้ขึ้นอยู่กับ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ขนาดชิ้นของผลิตภัณฑ์ และการกระจายตัวของความร้อนสู่บรรยากาศ (Skrupskis *et al*., 2008)

การแช่เยือกแข็งผลไม้บางชนิดที่มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูง จะเกิดการแตกของผลิตภัณฑ์ หรือที่เรียกว่า freeze-cracking โดยมีสาเหตุมาจากการแข็งตัวของอาหารภายนอกอย่างรวดเร็ว จึงไปกั้นไม่ให้บริเวณเนื้อส่วนกลางแข็งตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากภายใน เมื่อแรงดันจากภายในผลไม้มากกว่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จึงทำให้เกิด freeze-cracking ได้ (Hung, 1997; Sun, 2006)

ค. วิธีการหลอมละลาย

ในระหว่างการหลอมละลายผลไม้แช่เยือกแข็งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ซึ่งผลไม้ที่ทำการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ ภายหลังการหลอมละลายจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการเกิด recrystallization โดยมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เกิดการเสียสภาพ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ ซึ่งนำไปสู่การรั่วซึมของของเหลว (Zaritzky, 2006) วิธีการที่ใช้หลอมละลายผลไม้แช่เยือกแข็งและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีคือ การหลอมละลายในตู้แช่เย็นและไมโครเวฟ ซึ่งการใช้ไมโครเวฟเป็นวิธีการหลอมละลายที่รวดเร็วและสามารถรักษารูปทรงของอาหารได้ดีกว่าวิธีอื่น (Karel and Lund, 2003) ในปัจจุบันได้มีการนำวิธีระบบความดันสูงมาใช้ในการหลอมละลาย ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพโดยมีอัตราเร็วในการหลอมละลายสูง (Lebail *et al*., 2002) นอกจากนี้ ยังได้ทดลองเปรียบเทียบวิธีการหลอมละลายผลสตรอเบอรี่ 5 วิธี คือ การหลอมละลายที่อุณหภูมิห้อง (22 องศาเซลเซียส) การหลอมละลายใน water bath (20 องศาเซลเซียส), การหลอมละลายด้วย cryostat (4 องศาเซลเซียส) การหลอมละลายด้วยตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) และการหลอมละลายด้วยระบบความดันสูง (high-pressure induced, HPIT) พบว่าการหลอมละลายด้วยวิธี HPIT มีปริมาณการสูญเสียของเหลวต่ำสุด แต่การหลอมละลายเนื้อสตรอเบอรี่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิห้อง พบว่าให้ค่าความแน่นเนื้อมากกว่าการหลอมละลายด้วย water bath และวิธี HPIT (Buggenhout *et al.*, 2006a)

ง. การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในเนื้อผลไม้ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง

การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อนโดยจุ่มในน้ำเดือดหรือไอน้ำ หรือจุ่มในสารละลายกรด ทั้งนี้ การหั่นชิ้นแบบลูกเต๋า แบบฝานครึ่งผล หั่นฝอย จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ได้เร็วขึ้น (Torreggiani *et al*., 2000) ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจุ่มผลไม้ในน้ำร้อนก่อนนำไปแช่เยือกแข็งใน ดังตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในผลไม้ด้วยการจุ่มในน้ำร้อนก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลและการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ 2. ทำลายจุลินทรีย์เริ่มต้น 3. ลดปริมาณสารฆ่าแมลงที่ปนเปื้อนมากับผลไม้ 4. ช่วยสกัดสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) ออกมาจากเซลล์ของผลไม้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำไปบริโภคในรูปของน้ำผลไม้คั้น เช่น น้ำบลูเบอรี่และน้ำส้มคั้น	1. ทำให้เซลล์ที่เป็นองค์ประกอบภายในเนื้อเยื่อตาย ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อสัมผัส 2. สารละลายและสารอาหารที่อยู่ในเนื้อผลไม้ลดลง ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และยังทำให้น้ำในอ่างน้ำร้อนไม่สะอาด 3. ใช้น้ำปริมาณมาก

(ที่มา: Torreggiani *et al*., 2000)

จ. อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา

การเก็บรักษาอาหารที่แช่เยือกแข็งโดยทั่วไปจะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หรือ 0 องศาฟาเรนไฮต์ หรือต่ำกว่า (Sethi, 2007) ซึ่งจะช่วยชะลอการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้ และยังช่วยลดการเกิด recrystallization ซึ่งเกิดจากการก่อผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้นใหม่และจะไปทำลายเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะที่อุณหภูมิไม่คงที่ (Canet *et al*., 2005)

การเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งเป็นเวลานานไม่มีผลต่อคุณภาพของอาหาร หากสามารถรักษาระดับของอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาได้อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิจะเกิดในระหว่างขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ใช้ระบบทำความเย็น หรือระหว่างเก็บรักษา ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง ตัวอย่างเช่น ผลของการรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ในการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ปี พบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติ และความเสียหายที่ผนังเซลล์ (Zaritzky, 2006) และผลการศึกษาการสูญเสียของเหลวของผลสตรอเบอรี่ภายหลังการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส -18 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 48 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยอยู่ในช่วง -25 องศาเซลเซียสถึง -18 องศาเซลเซียส ผลการทดลองภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสม่ำเสมอ -25 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียของเหลวน้อยที่สุด ในขณะที่การเก็บรักษาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีการสูญเสียของเหลวมากที่สุด (Pukszta and Palich, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บรักษามันฝรั่งที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วง -24 ถึง -18 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลงต่ำกว่าการเก็บรักษามันฝรั่งในช่วงอุณหภูมิ -18 ถึง -6 องศาเซลเซียส เนื่องจากช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษายิ่งกว้าง จะทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสมากขึ้น (Alvarez and Canet, 1998)

2.16 ไนโตรเจนเหลว

ไครโอจีนิกเทคนิคเป็นวิธีการแช่เยือกแข็งอาหารวิธีหนึ่งที่ประกอบไปด้วยสารทำความเย็น เช่น ไนโตรเจนเหลว หรือคาร์บอนไดออกไซด์เหลว และระบบเครื่องที่ใช้ในกระบวนการแช่เยือกแข็ง เมื่อสารทำความเย็นสัมผัสกับอาหารในระหว่างการทำเยือกแข็งโดยวิธีไครโอจีนิก จะทำให้เกิดชั้นแข็งและบางบริเวณรอบผลิตภัณฑ์ ช่วยในการป้องกันการสูญเสียความชื้นออกจากอาหาร อีกทั้งยังช่วยในการปกป้องผลิตภัณฑ์จากความเสียหายได้ ลดการเกาะติดกันซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือติดอยู่บนสายพาน ซึ่งมักเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีชิ้นขนาดเล็ก (Agnelli and Mascheroni, 2002)

ไนโตรเจนเหลวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในทางการค้า ซึ่งมีแหล่งที่มาจากอากาศเท่านั้น ไนโตรเจนเหลวผลิตได้จากกระบวนการกลั่นลำดับส่วนจากอากาศในรูปของเหลว ซึ่งในกระบวนการดังกล่าวนี้ อากาศจะถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของสารประกอบหลัก (อุณหภูมิต่ำกว่า -200 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นอากาศจะถูกทำให้อุ่นขึ้น จึงทำให้ส่วนประกอบของไนโตรเจนที่มีจุดเดือดต่ำกว่า ระเหยออกจากสารผสม แล้วแก๊สไนโตรเจนที่แยกออกมาจะถูกกักไว้ แล้วทำให้เย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวอีกครั้ง

ประโยชน์ของการใช้ไนโตรเจนเหลวมีมากมาย โดยเฉพาะในกระบวนการที่ต้องการอุณหภูมิต่ำมากและมีความเร็วสูงในการลดอุณหภูมิ เช่น การนำมาใช้ในกระบวนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิก ซึ่งเป็นวิธีการแช่เยือกแข็งอาหารที่มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำ โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ไนโตรเจนในการแช่เยือกแข็งเป็นหลัก ได้แก่ โรงงานผลิตเนื้อสัตว์ เช่น เป็ด เนื้อวัว ปลา หรืออาหารประเภทน้ำนม เบเกอรี่ ผัก และผลไม้ ซึ่งการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีข้อได้เปรียบ คือ ช่วยลดการก่อผลึกของน้ำแข็งขนาดใหญ่ ป้องกันอาหารสัมผัสกับแก๊สออกซิเจน นอกจากนี้การเก็บรักษาอาหารด้วยวิธีแช่เยือกแข็งโดยใช้ไนโตรเจนเหลวสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 7 เดือน (Piskarev and Bornovalova, 1969; Khadatkar *et al*., 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การแช่เยือกแข็งผลไม้ด้วยวิธีไครโอจีนิกโดยใช้ไนโตรเจนเหลวมีการสูญเสียของเหลวน้อยกว่า 1% ภายหลังการหลอมละลาย (Estrada-flores, 2002) จึงได้นำวิธีการดังกล่าวมาปรับใช้ในกระบวนการแช่เยือกแข็งผลสตรอเบอรี่ โดยการจุ่มผลสตรอเบอรี่ลงในไนโตรเจนเหลวแทนการแช่เยือกแข็งแบบเป่าลมเย็น แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 ถึง -24 องศาเซลเซียส ซึ่งภายหลังการหลอมละลายที่อุณหภูมิห้อง พบว่าผลสตรอเบอรี่แช่เยือกแข็งโดยใช้ไนโตรเจนเหลวมีการสูญเสียของเหลวเพียง 6-8% ในขณะที่ผลสตรอเบอรี่แช่เยือกแข็งแบบเป่าลมเย็น สูญเสียของเหลวถึง 1 ใน 3 ของน้ำหนักเริ่มต้น หรือประมาณ 30% ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงครึ่งเท่ากัน (Boyle and Wolford, 1968; Buggenhout *et al*., 2006a) ซึ่งการสูญเสียของเหลวเนื่องจากการรั่วซึมของของเหลวในระหว่างการหลอมละลายมีความสัมพันธ์กับปริมาณและความรุนแรงของโครงสร้างเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายในระหว่างการแช่เยือกแข็ง (Kondratowicz and Matusevicius, 2002) นอกจากนี้ ได้มีการผลิตมะม่วงพันธุ์คาราบาวหั่นชิ้นแบบลูกเต๋าแช่เยือกแข็งส่งออกเพื่อบริโภคสดและแปรรูป โดยนำไปแช่เยือกแข็งด้วยวิธีไครโอจีนิก พบว่าประสิทธิภาพการใช้เทคนิคดังกล่าวสามารถรักษาสมบัติด้านความสด รสชาติ และลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกับเนื้อมะม่วงสด ซึ่งภายหลังการหลอมละลายไม่เกิดการสูญเสียของเหลวและการนิ่มของเนื้อมะม่วง (Felix, 2005)

2.17 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง

2.17.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ก. การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อผลไม้มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารสีที่เป็นองค์ประกอบภายในเนื้อผล เช่น แอนโทไซยานิน คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ซึ่งสารสีเหล่านี้มีผลต่อการประเมินคุณภาพทางด้านสีของผู้บริโภค เช่น การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินของเนื้อมะเขือม่วงหั่นชิ้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงตามระยะการเก็บรักษาที่นานขึ้น ซึ่งผลการวัดสีพบว่าค่า L* ของเนื้อด้านติดเปลือกลดลงเล็กน้อยในช่วง 13 วันแรกหลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า L* ของเนื้อด้านติดเมล็ดไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการเก็บรักษา (Concellon *et al*., 2007) เนื่องจากสารสีโดยส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณผิวเนื้อผลไม้ชั้นนอก แต่ผลไม้บางชนิดสารสีจะกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งผล ดังนั้นภายหลังที่เนื้อผลไม้ผ่านกระบวนการแปรรูป สารสีเหล่านี้จะมีผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ ซึ่งสารสีที่พบในผลไม้ เช่น

- แอนโทไซยานิน เป็นสารที่ให้สีแดง น้ำเงิน และม่วง โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการสุกของผลไม้ ซึ่งพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในผลบลูเบอรี่แช่เยือกแข็งและเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษาที่อุณภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน มีปริมาณแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลบลูเบอรี่สด อย่างไรก็ตาม ผลบลูเบอรี่แช่เยือกแข็งมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้นเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากการเสียสภาพของโครงสร้างเซลล์จึงทำให้แอนโทไซยานินถูกสกัดออกมาภายนอกเซลล์ (Scibisz and Mitek, 2007) ทั้งนี้ De Ancos *et al.* (2000) ได้รายงานว่าการรักษาปริมาณแอนโทไซนานินในระหว่างการแช่เยือกแข็งของผลราสเบอร์รี่ ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ปริมาณกรดอินทรีย์ ความเข้มข้นของน้ำตาล และปริมาณของแอนโทไซยานินเมื่อเริ่มต้นก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง

- **คลอโรฟิลล์** พบได้ในผลไม้ดิบที่ยังไม่สุกและสารนี้จะค่อยๆ สลายตัวหายไปเมื่อผลไม้เริ่มสุกและมีการสังเคราะห์สีเหลืองของแคโรทีนอยด์หรือสีแดงของแอนโทไซยานินขึ้นมาแทนที่ ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งผลกีวีหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง สอดคล้องกับการลดลงของค่า a* ค่า b* และการเพิ่มขึ้นของค่า L* (Cano *et al*., 2005)

- **แคโรทีนอยด์** พบได้ในผลไม้หลายชนิดที่มีสีเหลือง สีส้ม และสีแดง เป็นสารสีที่อยู่ในคลอโรพลาสต์รวมอยู่กับคลอโรฟิลล์ พบมากในผลไม้ เช่น มะเขือเทศสุกและมะม่วงสุก โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการสุก และแคโรทีนอยด์ยังสลายตัวได้ง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้น ในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้แบบแช่เยือกแข็งพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มลดลง เช่น การสูญเสียแคโรทีนอยด์ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นแช่เยือกแข็ง โดยเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษามีปริมาณเบต้า-แคโรทีนเท่ากับ 3.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักสดและมีปริมาณลดลงเท่ากับ 3.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักสด ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ-18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วัน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของเบต้า-แคโรทีน จึงทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นแช่เยือกแข็งลดลง (Jeremiah, 1995) ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อมะม่วงสุกแช่เยือกแข็งพันธุ์ ‘Totaputi’ แสดงดังตารางที่ 2.4

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นแช่เยือกแข็งแบบเป่าลมเย็น แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์เหลืออยู่เท่ากับ 64% ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ในขณะที่เนื้อมะม่วงที่จุ่มในสารละลายกรดแอสคอร์บิกก่อนนำไปแช่เยือกแข็งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เหลืออยู่ในปริมาณมากกว่าเท่ากับ 85% (Marin *et al*., 2005) และ Simandjuntak *et al*. (1996) ได้รายงานการวัดค่าสีของเนื้อแคนตาลูปหั่นชิ้นแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน มีค่า L* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า H^o ลดลงตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะการเก็บรักษา โดยเชื่อว่าเป็นผลจากการสลายตัวของแคโรทีนอยด์เนื่องมาจากการเร่งด้วยเอนไซม์ของเนื้อผลไม้

ตารางที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของเนื้อมะม่วงสุกแช่เยือกแข็งพันธุ์ 'Totaputi' ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 เดือน

	เนื้อมะม่วงแช่เยือกแข็ง	
	เมื่อเริ่มต้น	ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 เดือน
• ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%)	16.50	16.00
• ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (%)	0.45	0.48
• ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	17.00	0.90
• ปริมาณแคโรทีนอยด์ในรูปของเบต้า-แคโรทีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	4.20	2.15

(ที่มา: Ramana *et al.*, 1984; Litz, 2000)

สำหรับมะเขือเทศเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูง โดยพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อมะเขือเทศที่หั่นฝอย แล้วนำไปแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ถึง 9 เดือน มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงตามระยะการเก็บรักษา แต่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตา จึงไม่เกิดการสูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี (Reid and Barrett, 2005) นอกจากนี้ Dutta *et al.* (2005) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเบต้า-แคโรทีนในเนื้อแครอทหั่นชิ้น ภายหลังการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 หรือ 5 นาที ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, -8, -14 และ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 วัน พบว่าการลวกเนื้อแครอทหั่นชิ้นในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเพียง 1.2% และไม่แตกต่างกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เนื้อแครอทที่ลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงมากกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการจุ่มเนื้อแครอทในน้ำเดือดเป็นเวลานานจะทำให้แคโรทีนที่มีหมู่ของโปรตีนรวมอยู่ด้วย ซึ่งสามารถละลายน้ำได้เกิดการสูญเสียในระหว่างการแช่ในน้ำเดือด และการเก็บรักษาเนื้อแครอทหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ภายหลังการแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 นาที มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงมากถึง 40.20% เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. เนื้อสัมผัส

ปริมาณน้ำในผลไม้มีมากกว่า 90% ของน้ำหนักผล น้ำและส่วนประกอบทางเคมีภายในผลไม้เหล่านี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดการแข็งตัวของผนังเซลล์ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อน้ำภายในเนื้อของผลไม้มีอัตราเร็วในการแข็งตัวช้าและการกระจายตัวของผลึกน้ำแข็งน้อย หรือน้ำแข็งเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ (Kidmose and Martens, 1999) ทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายและเกิดการสูญเสียความเต่งภายในเซลล์ของผลไม้ และภายหลังการหลอมละลายเนื้อผลไม้แช่เยือกแข็งจะเกิดการสูญเสียของเหลวและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ความกรอบและความฉ่ำน้ำ ซึ่งจะทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนิ่มกว่าผลไม้สดที่ใช้ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง (Simandjuntak *et al*., 1996) ถึงแม้ว่าการเก็บรักษาผลไม้ด้วยวิธีแช่เยือกแข็งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แต่ควรใช้วิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูง เพราะเนื้อผลไม้มีความอ่อนนิ่มและสูญเสียคุณภาพได้ง่าย ซึ่งการใช้วิธีแช่เยือกแข็งที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดการเสียสภาพของเซลล์และเนื้อเยื่อได้ โดยภายหลังการลดอุณหภูมิจะเกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำภายในเซลล์น้อยมาก ลดการแตกของผนังเซลล์ส่งผลให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี (Brown, 1976; Reid, 1994; Zaritzky, 2006) Buggenhout *et al*. (2006b) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของแครอทแช่เยือกแข็ง โดยเปรียบเทียบความรุนแรงของการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเนื้อเยื่อ พบว่าการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วด้วยวิธีไครโอ-จีนิกช่วยลดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อเปรียบกับวิธีการแช่เยือกแข็งที่ช้ากว่า และการแช่เยือกแข็งเนื้ออะโวกาโดภายหลังการแยกเมล็ดออกและหั่นชิ้น สามารถรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสและไม่เกิดกลิ่นที่ผิดปกติภายหลังการหลอมละลาย (Kurlaender, 2005)

2.17.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ภายในเซลล์พืชประกอบไปด้วยคลอโรพลาสต์ แวคิวโอล อะไมโลพลาสต์ และสตาร์ช ซึ่งในแวคิวโอลมีสารต่างๆ เช่น กรดอินทรีย์ สารประกอบฟีนอล และเอนไซม์ ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้จะรั่วไหลออกมาจากเซลล์ภายหลังที่เยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมสภาพ เนื่องมาจากวิธีการแช่เยือกแข็งที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นการเตรียมผลไม้สดหั่นชิ้นก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง การเลือกใช้วิธีแช่เยือกแข็งที่มีประสิทธิภาพ และการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็ง จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถรักษาคุณภาพผลไม้แช่เยือกแข็งไว้ได้ เช่น การจุ่มเนื้อสับปะรดหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง (Zaritzky, 2006) ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลไม้แช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก. ปริมาณกรดและน้ำตาลในผลไม้แช่เยือกแข็ง

การเก็บรักษาผลไม้สดด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งช่วยรักษาปริมาณกรดแอสอคอร์บิกได้ดีกว่าการเก็บรักษาด้วยวิธีการอื่น (Asami *et al*., 2003b) ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดแอสคอร์บิกในผลสตรอเบอรี่ในระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง พบว่าสูญเสียกรดแอสคอร์บิกต่ำมากคือ 8.9% เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และ -24 องศาเซลเซียส ช่วยรักษาคุณภาพทางด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่น และรูปลักษณ์ทั้งผลได้ดีที่สุด (Sahari *et al*., 2004) และการจุ่มผลสตรอเบอรี่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร ก่อนนำไปแช่เชือกแข็ง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน พบว่าปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงขึ้นโดยอยู่ในช่วง 25-45% และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้คงที่ตลอดระยะการเก็บรักษา (Suutarinen, 2002) และการแช่เยือกแข็งผลกีวีหั่นชิ้นด้วยวิธีเป่าลมเย็น เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าปริมาณความชื้นและปริมาณกรดทั้งหมดลดลงเพียงเล็กน้อย ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงตามปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลของผลกีวีหั่นชิ้นไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงเพียง 10-25% และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงแต่ไม่สามารถชี้บ่งถึงความแตกต่างจากการดูด้วยสายตาได้ (Cano *et al*., 2005)

การเก็บรักษาเนื้อแคนตาลูปหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ -23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะการเก็บรักษา และได้มีการทดลองเก็บรักษาเนื้อแคนตาลูปหั่นชิ้นที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ พบว่าระดับอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่เทรตได้ของเนื้อแคนตาลูปเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าพีเอชที่ลดลง และแตกต่างจากเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Simandjuntak *et al*., 1996)

ข. สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่พบมากบริเวณเปลือกของผลไม้ ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นการสูญเสียสารประกอบฟีนอลของผลไม้จะเกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการปอกเปลือกและหั่นชิ้น ตัวอย่างเช่น การปอกเปลือกผลสาลี่พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดลดลง 13-48% (Rickman *et al*., 2007) อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาผลไม้สดด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งช่วยชะลอการสูญเสียสารประกอบฟีนอลได้ และในผลไม้บางชนิดพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นภายหลังการแช่เยือกแข็ง เช่น ผลสาลี่ภายหลังการปอกเปลือก แยกเอาแกนในออกและหั่นชิ้น จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 2-3 เดือนแรกของการเก็บรักษา โดยมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้น 30% เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดจากเซลล์ถูกทำลายและมีสารประกอบฟีนอลถูกสกัดออกมามากขึ้น (Asami *et al*., 2003a) และยังพบว่าสารประกอบฟีนอลของผลราสเบอร์รี่แช่เยือกแข็งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี (De Ancos *et al*., 2000) .แต่การแช่เยือกแข็งผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 'Senga' ด้วยไนโตรเจนเหลว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือนพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลง 17.8% เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา (Oszmianski *et al*., 2008) และการแช่เยือกแข็งผลเชอรี่ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินลดลงเท่ากับ 50 และ 87% ตามลำดับ (Chaovanalikit and Wrolstad, 2004)

Gonzalez *et al*. (2000) รายงานว่าการแช่เยือกแข็งผลแบลคเบอรีด้วยวิธีไครโอเจนิกโดยใช้ไนโตรเจนแหลวและบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าสารประกอบฟีนอลมีปริมาณคงที่อยู่ในช่วง 903.61-977 มิลลิกรัม/100 กรัมของเนื้อผลไม้สด และการแช่เยือกแข็งผลสตรอเบอรี่สดด้วยวิธี air blast freezing แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าผลสตรอเบอรี่ที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธี freeze dried และ air-dried (Asami *et al*., 2003b) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งขึ้นอยู่กับพันธุ์ของผลไม้และการบรรจุผลไม้ในบรรจุภัณฑ์ก่อนนำไปเก็บรักษา ซึ่งช่วยชะลอการสูญเสียสารประกอบฟีนอลได้ (Rickman *et al*., 2007)

ค. คุณค่าทางโภชนาการ

การแช่เยือกแข็งผลไม้ช่วยรักษาคุณภาพทางด้านโภชนาการ โดยภายหลังการแช่เยือกแข็งจะเกิดการแข็งตัวของของเหลวอย่างรวดเร็ว จึงเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์และวิตามินซีในผลกีวี และลดการสูญเสียแอนโทไซยานินในผลสตรอเบอรี่และบลูเบอรี่ภายหลังการหลอมละลายได้ (Torreggiani and Maestrelli, 2006) การเก็บรักษาผลบลูเบอรี่ด้วยวิธีแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 และ -35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าช่วยรักษาคุณภาพและปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และชะลอกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชัน และเมื่อเปรียบเทียบกับผลสดพบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและสารอาหารต่างๆ เหล่านี้ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน (Scibisz and Mitek, 2007) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ที่นำมาเก็บรักษาด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง ตัวอย่างเช่น การทดลองเปรียบเทียบการสูญเสียวิตามินซีในผลสตรอเบอรี่ องุ่นแดง ราสเบอรี่ เชอรี่ และกูสเบอรี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จากนั้นบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณการสูญเสียวิตามินซีของผลราส-เบอรี่และเชอรี่มีมากที่สุดเท่ากับ 84 และ 82% ตามลำดับ ในขณะที่ผลกูสเบอรี่มีปริมาณการสูญเสียน้อยที่สุดเท่ากั

บ 53% เปรียบเทียบกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา และผลไม้มีอัตราการสูญเสียวิตามินซีมากในช่วง 2 และ 3 เดือนแรกของการเก็บรักษา สำหรับปริมาณน้ำตาลลดลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา (Fik and Macura, 1986) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้แช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษายังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ โดยพบว่าการเก็บรักษาผลราสเบอรี่และแบลคเคอแรนที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าผล ราสเบอรี่สายพันธุ์ ‘Meteor’ มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดเท่ากับ 54.4 มิลลิกรัม/100 กรัม และค่อนข้างคงที่ตลอดระยะการเก็บรักษา มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 8.8% และปริมาณการสูญเสียของเหลวภายหลังการหลอมละลายเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เท่ากับ 24.8% สำหรับผลแบลคเคอ-แรนสายพันธุ์ ‘Ijunskaja’ และ‘Chornij Kentavr’ มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดเท่ากับ 245.1 และ 201.3 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเท่ากับ 124.57 และ 107.43 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ (Kampuse and Kampuss, 2003)

2.17.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

ในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็งจะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง เนื่องจากระดับของอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เช่น การเก็บรักษาเนื้อมะเขือม่วงหั่นชิ้นแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสลดลง 50% เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน (Concellon *et al*., 2004) กิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงในระหว่างการแช่เยือกแข็งผลไม้ โดย Cano *et al*. (2006) ได้รายงานว่าการแช่เยือกแข็งเนื้อกล้วยหั่นชิ้น สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ประมาณ 60% เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อกล้วยสด และการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสลดลง 20% ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสสูงขึ้น 40% เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา (Marin *et al*., 2005) เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของเนื้อมะม่วงเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส (Wang *et al*., 2004) และการแช่เยือกแข็งเนื้อมะละกอหั่นชิ้นด้วยวิธีไครโอจีนิก ที่ระดับอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -24

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสลดลง 21% เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา (Cano *et al*., 1998)

แม้ว่าการเก็บรักษาผลไม้ด้วยวิธีแช่เยือกแข็งจะสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเพอร์ออกซิเดสของเนื้อผลไม้ได้ แต่ไม่สามารถทำลายเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์ (Marin and Cano 1993) ซึ่งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเพอร์ออกซิเดสยังสามารถทำงานได้เมื่อมีการเสียสภาพของโครงสร้างเซลล์ โดยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและสูญเสียคุณภาพภายหลังการหลอมละลาย เช่น การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ องุ่นแดง ราสเบอรี่ เชอรี่ และกูสเบอรี่ด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จากนั้นบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 เดือน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 3 และ 4 ของการเก็บรักษา และยังสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณวิตามินซี (Fik and Macura, 1986) ดังนั้น จะต้องยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้วิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีภายหลังการเก็บรักษา (Zaritzky, 2006) เช่น การจุ่มเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.1% ช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสได้ และการจุ่มเนื้อมะม่วงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.07% ช่วยในการปรับปรุงความแน่นเนื้อ หลังจากนั้นบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนแล้วไปนำไปแช่เยือกแข็ง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถรักษาคุณภาพของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นได้เป็นเวลา 120 วัน (Panhwar, 2005)

2.17.4 การเจริญของจุลินทรีย์

การแช่เยือกแข็งอาหารเป็นการยืดอายุการเก็บรักษา โดยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากมีการก่อผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิที่ต่ำมาก ทำให้ระดับความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น และสภาวะดังกล่าวเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เนื่องมาจากการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ (Hui *et al*., 2004) และการแช่เยือกแข็งผลไม้ช่วยให้อาหารปลอดภัยจากสารพิษที่เกิดจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์บางส่วนจะถูกทำลายไป หรือไม่สามารถเจริญได้ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง อย่างไรก็ตาม กระบวนการแช่เยือกแข็งไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ให้หมดไปได้ ยังคงมีจุลินทรีย์บางส่วนที่มีชีวิตรอด ดังนั้นจึงควรมีการลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นจากวัตถุดิบ ไม่ว่าจะเป็นการนำวัตถุดิบแช่ในสารฆ่าเชื้อหรือแช่ในน้ำร้อน หรือจุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Fallahi *et al*., 1997; Aguayo *et al*., 2007) เช่น การจุ่มเนื้อแอปเปิลสดหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียลงได้ (Root and Barrett, 2006) นอกจากนี้ ได้มีรายงานเปรียบเทียบชนิดของสารฆ่าจุลินทรีย์ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำมาใช้กับผลมะม่วงทั้งผลก่อนนำไปหั่นชิ้น พบว่าผลมะม่วงที่จุ่มในสารละลายกรดเพอร์ออกซี-แอซีติก ภายหลังการหั่นชิ้นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์น้อยกว่าผลมะม่วงที่จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Narciso and Plotto, 2005) และการลวกผลไม้หรือการลดพีเอชให้ต่ำกว่า 4.5 โดยการจุ่มผลไม้ในสารละลายกรดก่อนนำไปแช่เยือกแข็งช่วยทำลายจุลินทรีย์และทำให้จุลินทรีย์มีจำนวนลดลงในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งได้ (Torreggiani and Maestrelli, 2006)

คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของอาหารแช่เยือกแข็ง ยังขึ้นอยู่กับขั้นตอนการหลอมละลาย (Barbosa-Canovas *et al.*, 2005) ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารแช่เยือกแข็งจะเป็นสาเหตุทำให้อาหารเน่าเสียภายหลังการหลอมละลายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังการปนเปื้อนของอาหารในขั้นตอนการหลอมละลายโดยการบรรจุผลไม้ภายหลังการแช่เยือกแข็งในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดก่อนนำไปเก็บรักษา สำหรับมาตรฐานของอาหารแช่เยือกแข็งที่กำหนดโดยสถาบันอาหาร, กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, Public Health Laboratory Service Guidelines (PHLS) และ FAO/WHO ซึ่งได้กำหนดปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารแช่เยือกแข็งมีได้ไม่เกิน 10^6 โคโลนี/กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved