



ตำราเทคโนโลยีการแปรรูป ผักและผลไม้



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อินทิรา ลิจันทรพร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เทคโนโลยีการแปรรูปผักและผลไม้
Fruit and Vegetable Processing Technology

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อินทิรา ลิจันทรพร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คำนำ

ตำราเล่มนี้เรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชาเทคโนโลยีการแปรรูปผักและผลไม้ (03313311) ซึ่งเป็นรายวิชาเฉพาะด้านของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร เนื้อหาของวิชานี้เกี่ยวข้องกับความรู้เบื้องต้นของผักและผลไม้ การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว การเตรียมผักและผลไม้เบื้องต้นก่อนการแปรรูป การแปรรูปผักและผลไม้ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้อุณหภูมิต่ำ การแปรรูปในภาชนะปิดสนิท การแปรรูปน้ำผักและน้ำผลไม้ การใช้วิธีการหมักดอง การทำแห้ง และการใช้น้ำตาล เป็นต้น ตลอดจนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ผู้เขียนได้เรียบเรียงและดัดแปลงโดยเน้นทางด้านการแปรรูปอาหาร เพื่อให้ง่ายแก่ความเข้าใจ

ในการเรียบเรียงตำราเล่มนี้ได้อาศัยเอกสาร ตำรา และหนังสือจากผู้ทรงคุณวุฒิผู้เชี่ยวชาญหลายเล่ม จึงใคร่ขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสาร ตำรา และหนังสือทุกเล่มที่ได้อ้างอิงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย และหวังว่าตำราเล่มนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับและยินดีในการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อินทิรา ลิจันทรพร

มิถุนายน 2564

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นของผักและผลไม้	1
1.1 ความหมายและการจำแนกชนิดของผัก	1
1.2 ความหมายและการจำแนกชนิดของผลไม้	3
1.3 โครงสร้างของผักและผลไม้.....	4
1.4 องค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้.....	11
1.5 บทสรุป.....	24
แบบฝึกหัด	26
เอกสารอ้างอิง	27
บทที่ 2 ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว	29
2.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว.....	29
2.2 การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้	30
2.3 วิธีการชะลอการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว	43
2.4 คุณภาพและมาตรฐานของผักและผลไม้.....	51
2.5 บทสรุป.....	57
แบบฝึกหัด	59
เอกสารอ้างอิง	60
บทที่ 3 การเตรียมผักและผลไม้เบื้องต้นก่อนการแปรรูป.....	63
3.1 การรับวัตถุดิบ	63
3.2 การทำความสะอาดวัตถุดิบ	64
3.3 การปอกเปลือกผักและผลไม้	67
3.4 การลวก	72
3.5 การตัดแต่งวัตถุดิบให้มีขนาดตามต้องการ	75
3.5 บทสรุป.....	80
แบบฝึกหัด	81
เอกสารอ้างอิง	82

บทที่ 4 การแปรรูปผักและผลไม้โดยใช้อุณหภูมิต่ำ	83
4.1 การแปรรูปผักและผลไม้แช่เย็น	83
4.2 การแปรรูปผักและผลไม้เยือกแข็ง	96
4.3 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ในระหว่างการผลิต	105
4.4 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง	109
4.5 บทสรุป	111
แบบฝึกหัด	112
เอกสารอ้างอิง	113
บทที่ 5 การแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท	117
5.1 หลักการการแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท	117
5.2 ขั้นตอนการแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท	118
5.3 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กระป๋อง	131
5.4 การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กระป๋อง	133
5.5 บทสรุป	136
แบบฝึกหัด	137
เอกสารอ้างอิง	138
บทที่ 6 การแปรรูปน้ำผักและน้ำผลไม้	139
6.1 ความหมายของน้ำผักและน้ำผลไม้	139
6.2 ประเภทของวัตถุดิบที่นำมาทำน้ำผักและน้ำผลไม้	139
6.3 ชนิดของน้ำผักและน้ำผลไม้	141
6.4 กระบวนการผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้	148
6.5 บทสรุป	153
แบบฝึกหัด	155
เอกสารอ้างอิง	156

บทที่ 7 การแปรรูปผักและผลไม้โดยการหมักดอง	157
7.1 หลักการการแปรรูปผักและผลไม้โดยการหมักดอง	157
7.2 ขั้นตอนการผลิตผักและผลไม้ดอง	160
7.3 ประเภทการดอง.....	162
7.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำหมักดอง	164
7.5 การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่ผ่านการหมักดอง	164
7.6 ตัวอย่างการผลิตผักและผลไม้หมักดอง	166
7.7 บทสรุป.....	181
แบบฝึกหัด	182
เอกสารอ้างอิง	183
บทที่ 8 การแปรรูปผักและผลไม้โดยการทำแห้ง	185
8.1 หลักการแปรรูปผักและผลไม้โดยการทำแห้ง.....	185
8.2 กรรมวิธีการแปรรูปผักและผลไม้อบแห้ง	186
8.3 การปฏิบัติต่อผลไม้หลังการอบแห้ง	196
8.4 การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ในขณะทำแห้ง	197
8.5 การควบคุมคุณภาพผักและผลไม้แห้ง.....	199
8.6 บทสรุป.....	203
แบบฝึกหัด	205
เอกสารอ้างอิง	206
บทที่ 9 การแปรรูปผักและผลไม้โดยการใช้น้ำตาล	209
9.1 หลักการแปรรูปผักและผลไม้โดยการใช้น้ำตาล.....	209
9.2 ผักและผลไม้แช่อิ่ม	209
9.3 ผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด.....	212
9.4 ผักและผลไม้กวน.....	221
9.5 การควบคุมคุณภาพของผักและผลไม้ที่ใช้น้ำตาล	224
9.6 บทสรุป.....	231
แบบฝึกหัด	233
เอกสารอ้างอิง	234

บทที่ 10 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	239
10.1 ความหมายและความสำคัญของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	239
10.2 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง.....	240
10.3 การเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากผัก	240
10.4 การเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้	242
10.5 บทสรุป	250
แบบฝึกหัด	251
เอกสารอ้างอิง	252
บรรณานุกรม	255
ดัชนี	257

บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นของผักและผลไม้

ผักและผลไม้อุดมไปด้วยแหล่งของสารอาหาร วิตามิน และสารจากพืชทุติยภูมิที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร (secondary metabolite) ได้แก่ สารน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ตัวอย่างเช่น สารประกอบฟีนอล อัลคาลอยด์ สารเหล่านี้มีความสามารถในการปกป้องเซลล์และช่วยให้เซลล์อยู่รอดส่งเสริมสุขภาพของมนุษย์ ผักโดยเฉพาะรากและหัวมีความสำคัญในการให้พลังงานถึงแม้ว่าผักมีปริมาณการผลิตน้อยกว่าร้อยละ 1 ของพืชในโลก มีการปลูกพืชผักหลายร้อยชนิดเพื่อเป็นอาหารในการดำรงชีวิตและการเกษตรเชิงพาณิชย์ทั่วโลก ซึ่งความหมายของผักและผลไม้ โครงสร้าง รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี อาทิ น้ำ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เอนไซม์ ลิพิด กรดอินทรีย์ รงควัตถุ สารประกอบฟีนอล แร่ธาตุ สารให้กลิ่นรส วิตามิน และสารพิษสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.1 ความหมายและการจำแนกชนิดของผัก

1.1.1 ความหมายของผัก

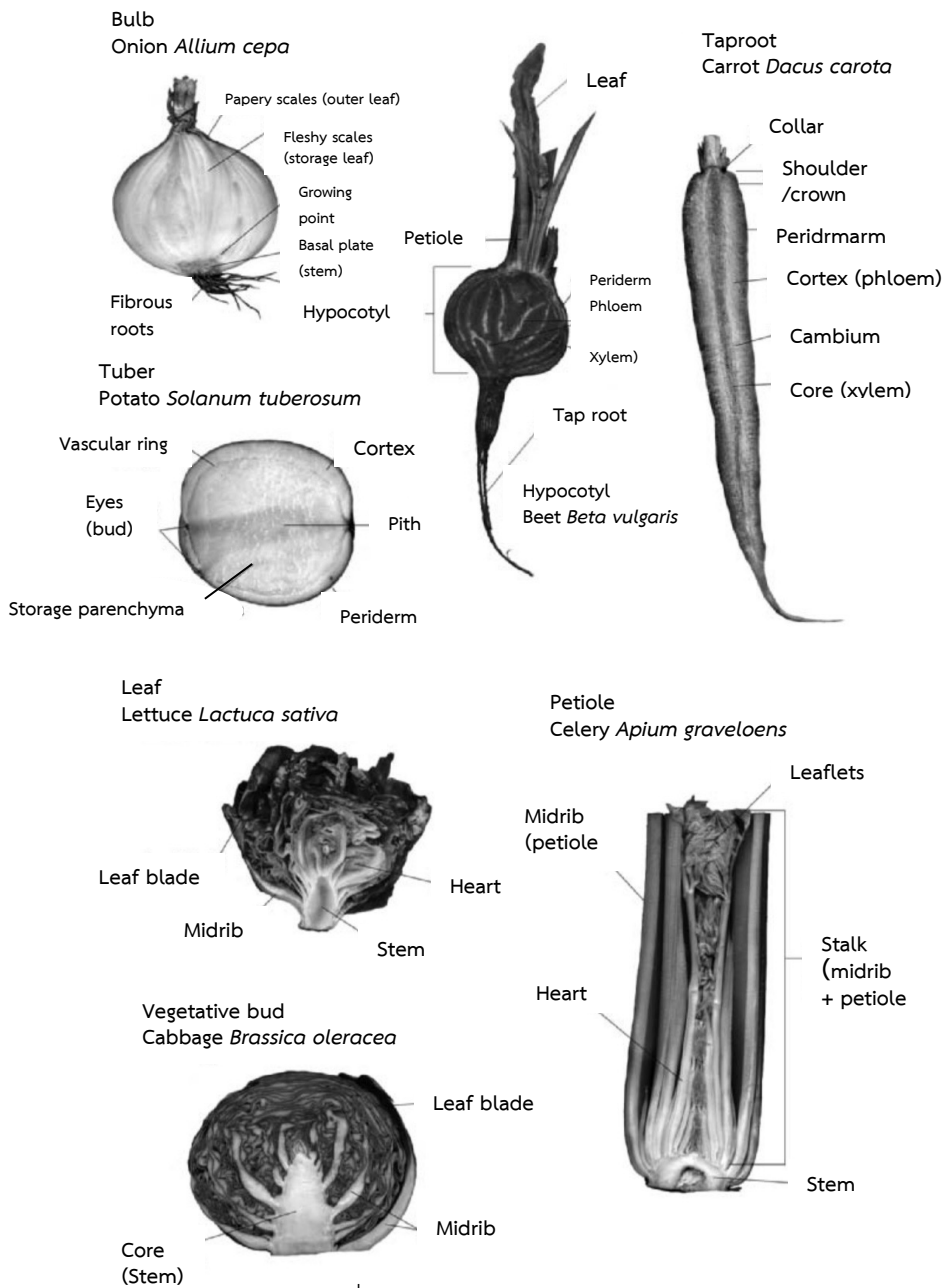
ผัก หมายถึง เนื้อเยื่อที่มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืชที่สามารถนำมาบริโภคได้ทั้งในรูปบริโภคสดหรือนำไปปรุงให้สุก

1.1.2 การจำแนกชนิดของผัก

ผักมีเยื่อใยและแป้งสูงมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงรวมทั้งเป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย การจำแนกผักออกเป็นหมวดหมู่ตามส่วนที่บริโภคได้ ดังนี้

1.1.2.1 ราก

ผักที่บริโภคโดยใช้รากแก้ว เช่น แครอทซึ่งเป็นส่วนของรากแก้วที่ประกอบด้วยชั้นนอกสุดหรือเปลือกคือเพอริเดิร์ม (periderm) มีรากฝอยเจริญออกมาจากแคมเบียม (cambium) ผ่านคอร์เท็กซ์ (cortex) และเพอริเดิร์มออกมาเพื่อดูดน้ำและสารอาหาร ส่วนของคอร์ (core) เป็นส่วนแกนของไซเล็ม (xylem) ถัดออกมาเป็นคอร์เท็กซ์ (cortex) เป็นส่วนชั้นนอกของโฟลเอ็ม (phloem) ส่วนหัวบิทยส่วนที่รับประทานได้เป็นไฮโปโคทิล (hypocotyl) (ภาพที่ 1.1) นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นรากแขนง ได้แก่ มันเทศ และมันสำปะหลัง



ภาพที่ 1.1 ลักษณะของรากและใบผัก
ที่มา : Radovich (2011)

1.1.2.2 ใบ

ผักที่ใช้ใบในการบริโภค เช่น ผักกาดหอม กะหล่ำปลี และผักกาดขาว ซึ่งส่วนที่ทานได้คือใบ (leaf) แกนกลางดอก (core) และส่วนของก้านใบ (midrib) (ภาพที่ 1.1)

1.1.2.3 ดอก

ผักที่บริโภคส่วนของดอก เช่น กะหล่ำดอก ดอกแค ดอกโสน และอาร์ติโชค

1.1.2.4 ผล

ผลแบ่งเป็นการบริโภคส่วนผลอ่อน เช่น ถั่วลันเตา ถั่วพู แตงกวา กระเจี๊ยบเขียว มะเขือ และการบริโภคส่วนผลแก่หรือผลสุก เช่น ฟักทอง มะเขือเทศ และพริก

1.1.2.5 หัว

หัวหรือก้านใบที่สะสมอาหารอยู่ใต้ดิน เช่น หอมแดง กระเทียม และหอมหัวใหญ่ (ภาพที่ 1.1)

1.2 ความหมายและการจำแนกชนิดของผลไม้

1.2.1 ความหมายของผลไม้

ผลไม้ในทางพฤกษศาสตร์ หมายถึงส่วนของพืชที่มีเมล็ดอยู่ภายในโดยมีเนื้อผลไม้หุ้มเมล็ดอยู่โดยรอบเพื่อปกป้องและหล่อเลี้ยงเมล็ดทั้งก่อนและระหว่างการงอก

1.2.2 การจำแนกผลไม้

การจำแนกผลไม้สามารถจำแนกได้ตามจำนวนรังไข่ที่ประกอบเป็นผลไม้ และจำแนกผลไม้ตามสภาพภูมิอากาศของถิ่นกำเนิดได้ดังนี้

1.2.2.1 การจำแนกผลไม้ตามจำนวนรังไข่ที่ประกอบเป็นผลไม้

สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) ผลไม้ชนิดผลเดี่ยว (simple fruit) เป็นผลไม้ที่เจริญจากรังไข่เดียว ส่วนของเนื้อผลไม้ (pericarp) ประกอบด้วย 3 ชั้น โดยมีส่วนชั้นนอกสุด (exocarp) ชั้นกลาง (mesocarp) และชั้นใน (endocarp) ผลไม้ในกลุ่มเบอร์รี่ (berry) เช่น ฝรั่งมะเขือเทศ และบลูเบอร์รี่เป็นส่วนเนื้อผลไม้ทั้งหมดของผลเดี่ยว ส่วนพวกที่มีเปลือกนอกแข็งเรียกว่า pepo ได้แก่ แตงโม แตงกวา และแคนตาลูป ผลไม้ที่มีเปลือกคล้ายหนัง เช่น ส้ม มะนาว เรียกกลุ่มนี้ว่า hesperidium โดยส่วนเปลือก

เป็นส่วนของ exocarp และ mesocarp รวมกัน และส่วนที่รับประทานได้เป็นส่วนของ endocarp ผลไม้ที่มีเมล็ดแข็งมากเรียกว่า drupe หรือ stone fruit เช่น มะกอก ท้อ เชอร์รี่ มะม่วง และอินทผาลัม โดยเมล็ดที่แข็งคือ endocarp ส่วนเนื้อผลไม้คือ mesocarp และเปลือกชั้นนอกคือ exocarp

2) ผลไม้ชนิดผลกลุ่มหรือผลประกอบ (aggregate fruit)

ผลไม้ที่เกิดจากดอก 1 ดอก ที่มีเกสรตัวเมียและรังไข่หลายอันรวมอยู่บนฐานรองดอกเดียวกัน เช่น แบลคเบอร์รี่ น้อยหน่า และสตอเบอรี่

3) ผลไม้ชนิดผลรวม (multiple fruit)

ผลรวมเกิดจากดอกหลายดอกที่อยู่บนช่อดอกเดียวกัน เช่น สับปะรด มะเดื่อ และมัลเบอร์รี่

1.2.2.2 การจำแนกผลไม้ตามสภาพภูมิอากาศของถิ่นกำเนิด

แบ่งได้ดังนี้

1) ผลไม้เขตอบอุ่น (temperate fruit) เป็นไม้ผลที่เจริญได้ดีในเขตอบอุ่น ตาดอกมีระยะพักตัวในช่วงฤดูหนาวและออกดอกเจริญเป็นผลสุกในฤดูร้อน เช่น แอปเปิล แพร์ ท้อ สาลี่ เชอร์รี่ และองุ่น

2) ผลไม้เขตกึ่งร้อน (subtropical fruit) เป็นไม้ผลที่เจริญได้ดีในอากาศกึ่งร้อน เช่น ลิ้นจี่ ลำไย อะโวคาโด ส้ม และเสาวรส

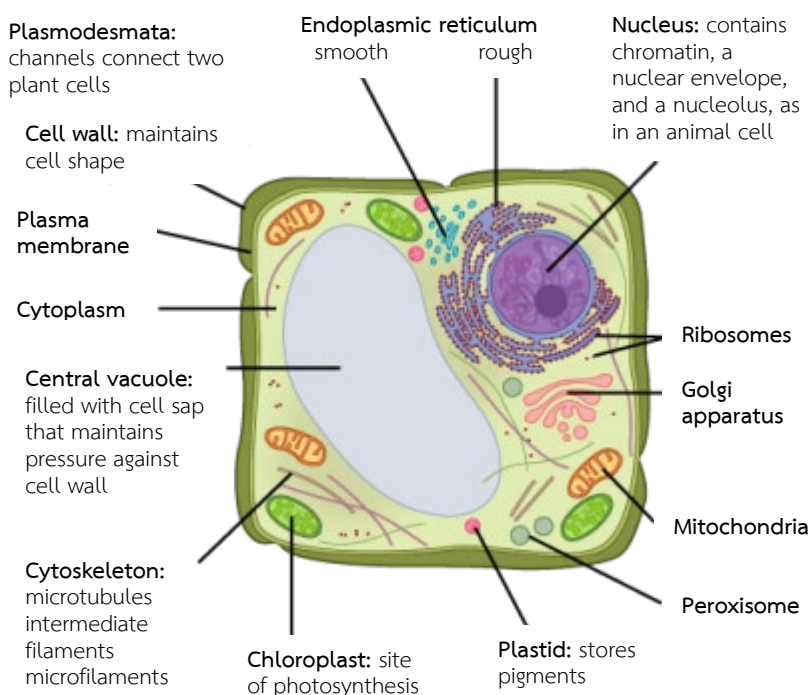
3) ผลไม้เขตร้อน (tropical fruit) เช่น มะม่วง มะละกอ เงาะ ทุเรียน สับปะรด และกล้วย

1.3 โครงสร้างของผักและผลไม้

ผักและผลไม้มีโครงสร้างประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากเป็นเซลล์ชนิดเดียวกับส่วนต่าง ๆ ของพืช โครงสร้างของเซลล์ถัดจากผนังเซลล์เข้าไปคือไซโตพลาส (cytoplasm) และมีพลาสทิด (plastids) อยู่ในไซโตพลาสของเซลล์พืชเป็นส่วนของที่สะสมผลผลิตจากเมแทบอลิซึมของเซลล์ และพลาสทิดเก็บสะสมรงควัตถุเรียกว่าโครโมพลาส (chromoplast) (ภาพที่ 1.2)

ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีขนาดใหญ่ลักษณะเป็นแท่งยาวรี ประกอบด้วยเยื่อหุ้มสองชั้น กระบวนการหายใจเกิดขึ้นในไมโทคอนเดรียมีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลไม้

แวคิวโอล (vacuole) เป็นช่องว่างภายในเซลล์ซึ่งเก็บสะสมน้ำและสารต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นในไซโตพลาสซึมทั้งรังควัตถุด้วย เนื้อเยื่อพืชประกอบด้วยเซลล์เชื่อมต่อกันและมีช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) ซึ่งมีความสำคัญต่อการเคลื่อนตัวของก๊าซและไอน้ำไปสู่บรรยากาศภายนอก ระหว่างเซลล์แต่ละเซลล์เชื่อมติดกันด้วยชั้นบาง ๆ เรียกว่า มิดเดิลลามেলা (middle lamella) ในส่วนนี้ประกอบด้วยเพกทินที่เป็นโครงสร้างคล้ายเจลทำหน้าที่ประสานเซลล์แต่ละเซลล์เข้าด้วยกัน ส่วนของมิดเดิลลามellanี้มีผลต่อความแข็งแรงของการยึดเกาะ



ภาพที่ 1.2 โครงสร้างของพืช

ที่มา: Molnar และ Gair (2015)

1.3.1 โครงสร้างเนื้อเยื่อพื้นฐานของพืช

โครงสร้างเนื้อเยื่อพื้นฐานของพืช แบ่งตามหน้าที่ได้ 4 ชนิด ดังนี้

1.3.1.1 เนื้อเยื่อป้องกัน (protective tissues)

เนื้อเยื่อป้องกันหรืออีพิเดอมิส (epidermis) เป็นเนื้อเยื่อที่เรียงตัวอยู่ชั้นนอกทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ที่อยู่ภายใน เนื้อเยื่อป้องกันเจริญอยู่ในส่วนของผิวพืชมีอีพิเดอมิสเป็นเซลล์อยู่ชั้นนอกสุดมีรูปร่างต่างกันไปตามตำแหน่งที่อยู่ เซลล์เบียดกันแน่นไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ ผนังเซลล์ส่วนที่อยู่ด้านนอกหนาและมีคิวติเคิล (cuticle) ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไข (ได้แก่ wax และ cutin) ปกคลุมอยู่ ส่วนของเนื้อเยื่อพืชใต้ดินถูกป้องกันด้วยชั้นของคอร์ค (cork) บาง ๆ และด้านนอกของชั้นเซลล์คอร์คมีซูเบอร์ิน (suberin) เคลือบอยู่ มันเทศและมันฝรั่งมีเนื้อเยื่อในการเจริญชั้นที่สองเรียกว่า เพอริเดม (periderm) ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาทดแทนอีพิเดอมิส ถ้ามีบาดแผลเกิดขึ้นกับพืชเนื้อเยื่อมีการสร้างเพอริเดมขึ้นมาทดแทนเพื่อปกป้องเนื้อเยื่อภายในจากสภาพแวดล้อม ในขณะที่แครอทและหัวผักกาดซึ่งเป็นรากใต้ดินแต่มีชั้นของเพอริเดมเมื่อเกิดบาดแผลขึ้นส่งผลให้น้ำเสียได้ง่ายกว่าโครงสร้างของเนื้อเยื่อป้องกัน ชั้นเนื้อเยื่อป้องกันทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อ การระเหยของกลิน การกระทบกระแทก การทำลายของแมลง เชื้อรา หรือจุลินทรีย์อื่นแต่ยอมให้มีการถ่ายเทอากาศได้พอเพียงกับความต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจ และคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการสังเคราะห์แสง ปากใบ (stoma หรือ stomata) เป็นช่องเปิดที่พืชใช้สำหรับคายน้ำเพื่อระบายความร้อนและเกี่ยวข้องกับการผ่านเข้าออกของก๊าซสำหรับการหายใจและสังเคราะห์แสง ปากใบมีมากในส่วนของใบแต่มีอยู่น้อยในส่วนของผล

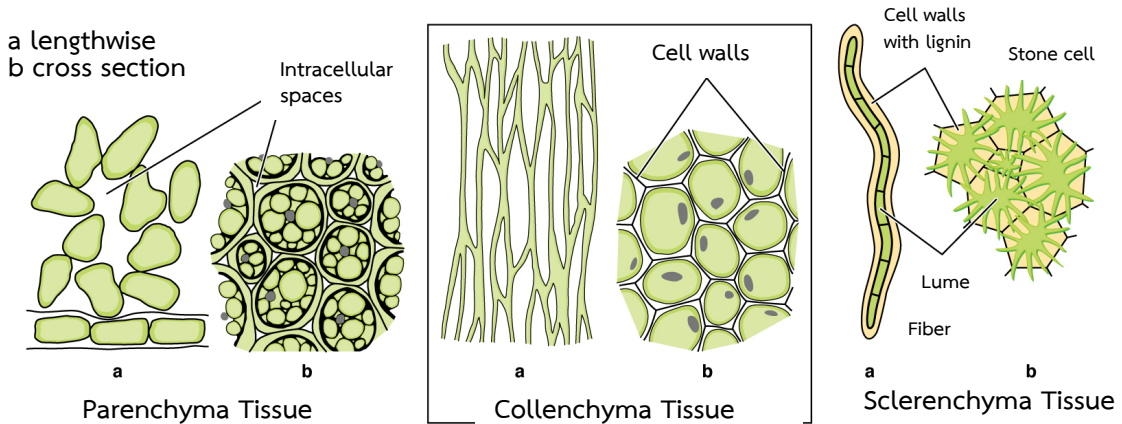
เลนติเซล (lenticel) เป็นรอยแตกหรือช่องเล็กๆ ที่ผิวของลำต้นหรือรากในอากาศซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคายน้ำและแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเนื้อเยื่อของพืชกับบรรยากาศ เลนติเซลมีข้อแตกต่างจากปากใบคือปากใบมีกลไกในการปิดเปิดแต่เลนติเซลไม่มี ดังนั้นอัตราการผ่านเข้าออกของไอน้ำที่เลนติเซลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของเลนติเซลบนผิวของผลผลิต มะเขือเทศเป็นผลผลิตที่มีชั้นของอีพิเดอมิสค่อนข้างแข็งแรง มีคิวติเคิลหนาและมีปากใบน้อยทำให้มีการสูญเสียน้ำค่อนข้างน้อยทนต่อการเกิดบาดแผลเก็บไว้ได้นาน ส่วนผลฝรั่งมีชั้นของคิวติเคิลค่อนข้างบางและมีปากใบอยู่มากทำให้เหี่ยวได้เร็วเนื่องจากสูญเสียน้ำ ส่วนผลผลิตที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ผักใบและเงาะ โดยโครงสร้างของเปลือกผลเงาะมีส่วนที่เป็นขน (spintern) จำนวนมากที่เป็นส่วนของท่อลำเลียงน้ำและอาหาร ขนขนของผลเงาะมี stomata อยู่มากและเปิดอยู่เสมอจึงส่งผลให้เกิดการคายน้ำและการเกิด

สีน้ำตาลตื้น ๆ ของเปลือกเงานั้นมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียสีน้ำ (Landrigan และคณะ, 1994) ส่งผลต่อการเหี่ยวเร็วเนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการคายน้ำสูง

1.3.1.2 เนื้อเยื่อพื้นฐานหรือเนื้อเยื่อพาเรงคิมา (parenchyma)

เนื้อเยื่อพื้นฐานประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาซึ่งเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บางและเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มเป็นเซลล์ที่มีการสังเคราะห์แสงเก็บสะสมสารอาหารสำหรับการขยายพันธุ์ มีอากาศอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์เหล่านี้ (ภาพที่ 1.3) เนื้อเยื่อพื้นฐานประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างใกล้เคียงกันและมีปริมาณมากที่สุดคือประมาณ 3 ใน 4 ของเซลล์ทั้งหมดของเนื้อเยื่อพืช ระหว่างการเจริญเติบโตเซลล์มีขนาดใหญ่และมีผนังเซลล์หนาขึ้น มีช่องว่างแทรกกระหว่างเซลล์ปริมาตรของช่องว่างระหว่างเซลล์มีความแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดและส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืช เช่น มันฝรั่งมีช่องว่างนี้น้อยกว่าร้อยละ 1 ของปริมาตรเนื้อเยื่อ แอปเปิลมีช่องว่างมากถึงร้อยละ 25 โดยในช่วงแรกภายในเซลล์มีแวคิวโอลขนาดเล็กจำนวนมากแต่เมื่อเซลล์มากขึ้นแวคิวโอลมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่มีจำนวนลดลงภายในแวคิวโอลใช้เป็นที่เก็บสารต่าง ๆ เช่น น้ำตาล กรด รงควัตถุ แทนนิน รวมทั้งสารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำ ส่วนไขมันและโปรตีนอยู่ในเซลล์ที่เป็นของเหลว โพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ นอกจากส่วนที่เป็นสตาร์ช คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทินรวมอยู่ในผนังเซลล์ ระหว่างเซลล์แต่ละเซลล์เชื่อมติดกันด้วยชั้นบาง ๆ เรียกว่ามิดเดิลลามেলা (middle lamella) ในส่วนนี้ประกอบด้วยเพกทินที่เป็นโครงสร้างคล้ายเจล ส่วนของมิดเดิลลามেলাนี้มีผลต่อความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่างเซลล์จึงมีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลไม้ เนื้อเยื่อพาเรงคิมายังเป็นแหล่งสะสมอาหารของผลผลิตและเป็นส่วนที่มนุษย์ใช้รับประทานเป็นส่วนใหญ่ แต่เซลล์พาเรงคิมาก็อาจพัฒนาไปเป็นลักษณะพิเศษอื่น เช่น ต่อมไขมันในเปลือกส้ม นอกจากนั้นยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การสลายน้ำตาล การเกิดหน่อ หรือรากใหม่ด้วย

The three basic types of plant tissue



ภาพที่ 1.3 ลักษณะของพาราไคมา คอลเลนไคมา และสเคอเรนไคมา

ที่มา: Britannica (2019)

1.3.1.3 เนื้อเยื่อค้ำจุน (supporting tissues)

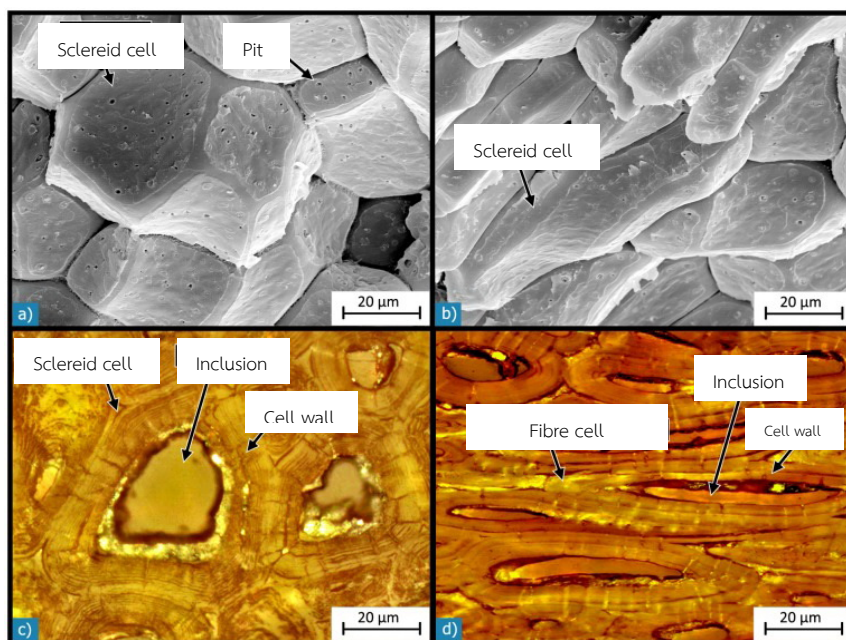
เนื้อเยื่อค้ำจุนทำหน้าที่ค้ำจุนโครงสร้างประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือคอลเลนไคมา (collenchyma) และสเคอเรนไคมา (sclerenchyma)

1) คอลเลนไคมา (collenchyma) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์หนาและยังพบอยู่ในชั้นอพิเดอมิสเรียงตัวเป็นแนวยาวขนานกับแกนยาวของส่วนต่าง ๆ ของพืชทำให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงในแนวแกนยาว (ภาพที่ 1.3 a และ b) พบมากในก้าน ลำต้น และใบ ผนังเซลล์นี้ประกอบไปด้วยเพกทินและเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่มีปริมาณเซลลูโลสค่อนข้างต่ำทำให้ผนังเซลล์มีความยืดหยุ่นแต่มีความทนทานสูงเป็นลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เช่น เส้นใยในก้านใบของขึ้นฉ่ายฝรั่ง (celery)

2) สเคอเรนไคมา (sclerenchyma) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์หนาและเป็นเซลล์ที่ตายแล้วเมื่อโตเต็มที่ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลสและลิกนิน (lignin) ทำให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงเมื่อเซลล์เจริญเต็มที่ส่วนของของเหลวในเซลล์ลดลง ปริมาตรส่วนใหญ่ของเซลล์จึงเป็นผนังเซลล์ (ภาพที่ 1.3a และ b) เซลล์สเคอเรนไคมาแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ เส้นใย และสเคอไรด์ (sclereid)

(1) เส้นใย (fibre) เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างยาวบางครั้งอาจยาวถึง 10 เซนติเมตรเรียงสานกันตามความยาวรวมกับกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ตัวอย่างในเปลือกหุ้มเมล็ดของแมคาเดเมีย (ภาพที่ 1.4) ในหน่อไม้ฝรั่งภายหลังการหุงต้มและทำให้มีลักษณะเป็นกากหรือเปลี่ยนเป็นลิกนิน

(2) สเคลอไรต์ (sclereid) เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างป้อมสั้น รูปร่างต่าง ๆ ไม้แน่นอน พบในส่วนที่แข็ง เช่น เปลือกหุ้มเมล็ดของแมคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia*) มีเซลล์สเคลอไรต์ที่ประกอบด้วยเซลล์คล้ายแพนเค้ก (pancake-like) ซึ่งก่อตัวเป็นผิวเรียบที่มีรูพรุนมากมาย (ภาพที่ 1.4) ต้นไม้ที่มีอายุในผลไม้บางชนิด เช่น ฝรั่ง สาลี่ และละมุดพบเซลล์สเคลอไรต์อยู่เป็นกลุ่มกระจายอยู่ในพารังคิมาของเนื้อผลไม้ทำให้เนื้อสัมผัสเป็นเม็ดแข็งแทรกอยู่ภายในเนื้อเมื่อเคี้ยว (ลักษณะเป็นเนื้อทราย) หรือพบได้ตามเปลือกของผลไม้ที่แข็ง เช่น มังคุด และมะตูม



ภาพที่ 1.4 ลักษณะของสเคลอไรต์ชั้นนอก a) ชั้นในสุด b) และ c) และเส้นใย d) ของเปลือกหุ้มเมล็ด *Macadamia integrifolia*
ที่มา: Schüller และคณะ (2014)

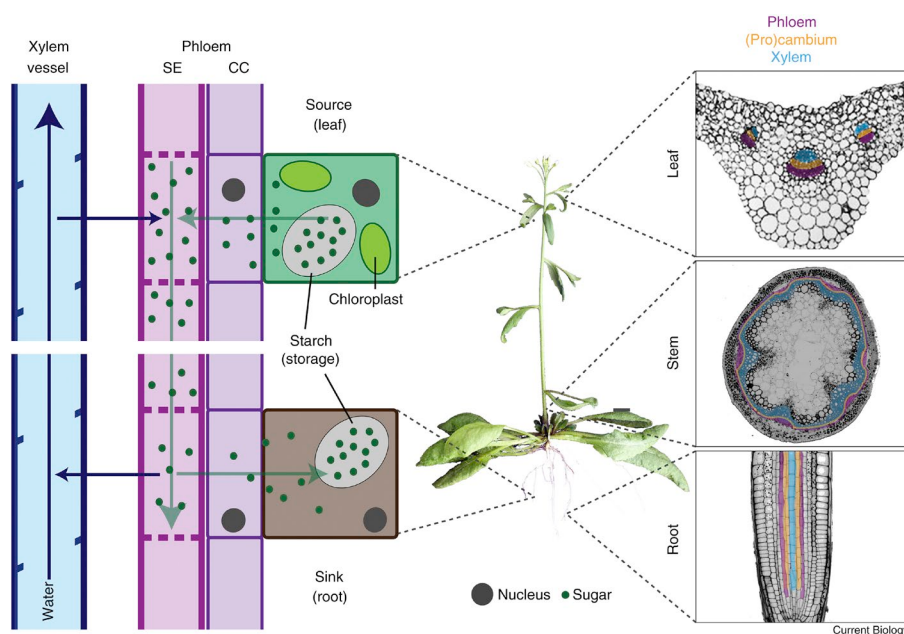
1.3.1.4 เนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissues)

เนื้อเยื่อลำเลียงทำหน้าที่ลำเลียงขนส่งสารต่าง ๆ ภายในเนื้อเยื่อประกอบด้วยไซเลม (xylem) และโฟลเอ็ม (phloem) (ภาพที่ 1.5) เนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissues) ทำหน้าที่ลำเลียงขนส่งน้ำและสารต่าง ๆ ภายในเนื้อเยื่อแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ไซเลม (xylem) และโฟลเอ็ม (phloem)

1) ไซเลม ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจากรากสู่ส่วนอื่น ๆ ของพืช (ภาพที่ 1.5)

2) โฟลเอ็ม ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจากใบไปสู่ส่วนอื่น ภาพที่ 1.5 แสดงโฟลเอ็มเป็นตัวกลางขนส่งน้ำตาลและส่งสัญญาณไปยังเนื้อเยื่อ โฟลเอ็มประกอบด้วย sieve element (SE) เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกยาวทำหน้าที่เป็นทางส่งผ่านของอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยส่งผ่านอาหารไปยังส่วนอื่นของลำต้นพืช นอกจากนี้โฟลเอ็มยังประกอบด้วย companion cell (CC) เป็นเซลล์ขนาดเล็กที่มีรูปร่างผอมยาวมีลักษณะเป็นเหลี่ยมและมีรูเล็ก ๆ เพื่อใช้เชื่อมต่อกับ SE โดย CC ทำหน้าที่ช่วยเหลือ SE ให้ทำงานได้ดีขึ้นเมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้น

ไซเลม และโฟลเอ็มเป็นเนื้อเยื่อที่ซับซ้อนและประกอบด้วยเซลล์หลายชนิด พืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีการจัดเรียงกลุ่มของเนื้อเยื่อลำเลียงแตกต่างกันไป ปริมาณน้ำในเซลล์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของพืช เซลล์เป็นเหมือนลูกโป่งที่มีน้ำบรรจุอยู่ และน้ำทำให้เกิดแรงดันต่อผนังเซลล์จึงเรียกแรงดันนี้ว่าเทอเกอร์ (turgor) ความแข็งแรงและยืดหยุ่นช่วยให้แรงดันเทอเกอร์คงตัวและส่งผลกลับไปให้เซลล์มีความยืดหยุ่นดีโดยแรงดันเทอเกอร์ยิ่งมากผักและผลไม้มีความกรอบมาก เช่น การกัดแอปเปิลสดมีน้ำพุ่งออกมา พืชมีการสูญเสียน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางใบของพืชเนื่องจากเกิดการลำเลียงอีกทั้งพืชมีกระบวนการดึงน้ำขึ้นมาทดแทนโดยรากดูดน้ำจากพื้นดินหรือแหล่งปลูกที่ไม่ใช่ดิน เช่น การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิค (hydroponic) ซึ่งปลูกในสารละลายที่มีอาหารอยู่เหมาะกับพืชที่มีความบอบบาง เช่น ผักสลัด แต่เมื่อตัดผักหรือผลไม้ออกจากต้นการลำเลียงยังคงมีอยู่แต่ไม่มีการดูดน้ำเข้าไปทดแทนทางราก การเสียน้ำออกจากเซลล์ทำให้แรงดันเทอเกอร์ลดลงและผักและผลไม้สูญเสียความกรอบในที่สุด



ภาพที่ 1.5 เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำและอาหาร
ที่มา: López-Salmerón และคณะ (2019)

1.4 องค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้

ผักและผลไม้เหมือนกับสิ่งมีชีวิตอื่นคือประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีหลายชนิด ผักและผลไม้แต่ละผลมีองค์ประกอบทางเคมีไม่เหมือนกันแม้ว่าเป็นชนิดเดียวกันก็ตามทั้งนี้เนื่องจากผักและผลไม้มีการเกิดเมแทบอลิซึมอยู่ตลอดเวลาทำให้องค์ประกอบเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ขึ้นกับปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น สภาพดินฟ้าอากาศ การตัดแต่ง ความสมบูรณ์ของผลผลิตในระยะเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นทำให้ผลิตผลเหมาะกับการบริโภค เช่น ความเป็นกรดลดลง ปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น เนื้อผลไม้เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ทำให้คุณภาพลดลงหรือเกิดการชราภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้ง การสลายของคลอโรฟิลล์ทำให้สูญเสียสีเขียวในผักและเนื้อผลไม้ นับ เป็นต้น โดยองค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้มีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 น้ำ (water)

ผักและผลไม้ส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 80 แต่ยังมีผักบางชนิดที่มีน้ำมากกว่าร้อยละ 90 เช่น แตงกวา มะเขือเทศ และผักกาดหอม ผักประเภทหัวที่มีเนื้อเยื่อสะสมแป้งหรือสตาร์ช (starch) เช่น มันเทศ มันแกว ถั่วลิสงเตา ข้าวโพด และกล้วย มีปริมาณน้ำน้อยกว่าเนื้อเยื่อซึ่งไม่มีการสะสม ปริมาณน้ำในผลผลิตเหล่านี้สูงกว่าร้อยละ 50 ในระหว่างที่ผักและผลไม้ยังอยู่บนต้นเกิดสมดุลระหว่างการดูดน้ำจากรากและการคายน้ำทางปากใบ (stomata) ทำให้เซลล์พืชมีลักษณะเต่งอยู่เสมอแต่เมื่อเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วการลำเลียงน้ำจากรากถูกตัดขาด แต่การคายน้ำยังคงดำเนินอยู่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและมีลักษณะเหี่ยวพบในผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวแล้วทิ้งไว้เป็นระยะเวลาสั้น การเก็บเกี่ยวผักและผลไม้เลือกสภาวะที่พืชรักษาน้ำไว้ได้มากที่สุดเพื่อรักษาความกรอบเอาไว้ การเก็บเกี่ยวผักสดที่มีความเต่งหรือกรอบมาก (มีปริมาณน้ำสูง) ก็มีความเสี่ยงต่อการแตกหักหรือฉีกขาดในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง

1.4.2 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates)

คาร์โบไฮเดรตเป็นของแข็งส่วนใหญ่ที่พบในผักผลไม้และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมากโดยอยู่ในรูปของน้ำตาลหรือโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) เช่น แป้งหรือสตาร์ช เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกทิน พืชตระกูลแตงมีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 2 พืชหัวสะสมแป้ง เช่น มันสำปะหลังมีสูงถึงร้อยละ 30 ผลไม้มีคาร์โบไฮเดรตในช่วงร้อยละ 5 – 20 แต่ทุเรียนมีสูงถึงร้อยละ 30 พืชสร้างน้ำตาลอย่างง่ายคือ โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) จากการสังเคราะห์แสงและน้ำ น้ำตาลโมโนแซคคาไรด์นี้ไปสร้างสารประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องที่มีโมเลกุลใหญ่และซับซ้อนขึ้น แหล่งที่พบหรือสะสมคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดแตกต่างกันดังนี้

1.4.2.1 ผนังเซลล์

คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดรวมทั้งโพลีแซคคาไรด์แต่ไม่รวมสตาร์ชพบในผนังเซลล์โดยเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์

1.4.2.2 พลาสทิดของไซโตพลาส

แป้งหรือสตาร์ชสะสมอยู่ในพลาสทิดของไซโตพลาส มีชื่อเรียกเฉพาะว่าอะไมโลพลาส (amyloplast) สตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดและมีลักษณะเฉพาะตัวในพืชแต่ละชนิด

1.4.2.3 แควิวอล

น้ำตาลในผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ ซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) และฟรุคโทส (fructose) สะสมอยู่ในแควิวอล (vacuole) ส่วนใหญ่ คาร์โบไฮเดรตในผลไม้มีอยู่ในรูปของน้ำตาล สำหรับน้ำตาลที่สำคัญในผักและผลไม้มี 3 ชนิดซึ่งน้ำตาล ที่ให้ความหวานมากที่สุดคือ ฟรุคโทส รองลงมาคือซูโครส และกลูโคส ตามลำดับ สัดส่วนของน้ำตาล แต่ละชนิดในผลผลิตต่าง ๆ แตกต่างกันไปทำให้มีรสชาติความหวานที่ไม่เหมือนกัน ปริมาณ น้ำตาลในผลผลิตมีตั้งแต่ต่ำน้อยมาก เช่น มะนาว จนถึงปริมาณที่สูงมากคือผลอินทผลัมซึ่งมีปริมาณ น้ำตาลสูงถึงร้อยละ 61 ของน้ำหนักผลสด ผักที่เป็นรากและมีแป้งไม่มาก เช่น แครอท หัวผักกาดขาว และปืหมี่น้ำตาลประมาณร้อยละ 8 – 18 ของคาร์โบไฮเดรต ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเพกทิน (pectin) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตทั้งสามประเภท นี้ถึงแม้จะไม่เกี่ยวข้องกับรสชาติของผักผลไม้โดยตรงแต่มีความสำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีมากที่สุดในผนังเซลล์และเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ ในส่วนของ เฮมิเซลลูโลสเป็นกลุ่มของสารประกอบหลายชนิดในโมเลกุลใหญ่อาจประกอบด้วยโมเลกุลย่อย ของโมโนแซคคาไรด์คือ เฮกโซส (hexose) เพนโตส (pentose) และอาจมีกลูคูโรนิก (glucuronic) ปะปนอยู่ การจัดกลุ่มเฮมิเซลลูโลสแบ่งตามชนิดของน้ำตาลที่มีอยู่ในโมเลกุล ในพืชชั้นสูงพบไซแลนส์ (xylans) อะราโบกาแลคแทน (arabogalactan) และกลูโคแมนแนน (glucomannan) เฮมิเซลลูโลส นี้แทรกและยึดตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสในผนังเซลล์มีส่วนให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ เช่นกัน ทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (unavailable carbohydrate) เนื่องจากในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ในการย่อยองค์ประกอบทั้งสองตัวนี้แต่ยังคงมีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์มากเนื่องจากจัดเป็นเยื่อใยอาหารที่ช่วยให้ระบบ ขับถ่ายทำงานเป็นปกติ

เพกทินเป็นสารประกอบที่พบมากที่ผนังเซลล์ สารนี้มีลักษณะเป็นโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อของกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) สายยาวของโมเลกุลนี้อาจเกิดพันธะเชื่อม ข้ามได้หลายลักษณะทำให้สารเพกทินมีการละลายได้หลายระดับ โมเลกุลของเพกทินแทรกอยู่ ระหว่างเซลลูโลสทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่าง ๆ ในผนังเซลล์เข้าด้วยกันเช่นเดียวกับปูนในผนัง คอนกรีต สารเพกทินนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกลไกทางชีวเคมีในระหว่างการสุกของผลไม้ ยังมีสาร อีกประเภทหนึ่งที่ไม่จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตแต่พบในผนังเซลล์คือ ลิกนิน ซึ่งพบในผนังเซลล์บาง

ประเภท เช่น ไซเลมหรือสเคอเรนไคมาและมีหน้าที่ให้ความแข็งแรงและความเหนียว ในเนื้อไม้มีลิกนินสูงถึงร้อยละ 30 แต่ในผักและผลไม้มีลิกนินไม่มากนักคือน้อยกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้งของเนื้อเยื่อ แต่ถึงมีปริมาณน้อยก็มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารคือทำให้เกิดลักษณะเป็นกากเหนียวหรือแข็ง ผักที่มีอายุมากมีปริมาณลิกนินสูงทำให้มีลักษณะเป็นกากมากขึ้น

1.4.3 โปรตีนและเอนไซม์ (protein and enzyme)

โปรตีนในผักและผลไม้โดยทั่วไปมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนัก แต่ก็ยังจัดเป็นสารประกอบหลักของโครงสร้างเนื่องจากเป็นส่วนใหญ่ในไซโตพลาสของเซลล์ โปรตีนส่วนหนึ่งอยู่ในรูปของเอนไซม์อาจพบโปรตีนในส่วนอื่นของเซลล์นอกจากไซโตพลาสบ้างเช่นที่ผนังเซลล์ แต่พบน้อยมาก พืชตระกูลถั่วและเมล็ดเคี้ยวมัน (nut) มีโปรตีนประมาณร้อยละ 8 – 20 ถือว่ามีมากที่สุด ส่วนผักใบบางชนิดและข้าวโพดหวานมีมากกว่าร้อยละ 4 ผักชนิดอื่นมีโปรตีนประมาณร้อยละ 2 – 3 ผลไม้โดยทั่วไปมีโปรตีนต่ำกว่าผักอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 0.0 – 4.0 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนนิยมวิเคราะห์จากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เพราะไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของโปรตีน) แต่ปริมาณไนโตรเจนอาจได้จากสารประกอบอื่นได้ เช่น กรดนิวคลิอิก ซึ่งพบมากในเห็ดและหน่อไม้ดังนั้นอาจมีการเข้าใจผิดได้ว่าเห็ดและหน่อไม้มีโปรตีนสูง โปรตีนในพืชจัดเป็นโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์ (incomplete proteins) เนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids) ไม่ครบทุกชนิดหรือมีกรดอะมิโนจำเป็นบางตัวในปริมาณต่ำ ดังเช่นโปรตีนจากข้าวโพดมีกรดอะมิโนไลซีน ทรีโตนีน และเมไทโอนีนน้อย ส่วนโปรตีนจากถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนเมไทโอนีนต่ำ การปรับปรุงคุณภาพโปรตีนในพืชทำได้โดยพิจารณาชนิดของกรดอะมิโนจำเป็นที่มีในพืชแต่ละชนิดและรับประทานพืชหลายชนิดร่วมกันเพื่อให้ได้กรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด เช่น รับประทานถั่วผสมกับงาทำให้ร่างกายได้รับโปรตีนที่สมบูรณ์ โปรตีนในพืชอาจแบ่งได้เป็นโปรตีนที่สะสม (storage protein) สำหรับการเจริญเติบโตในอนาคตและโปรตีนสำหรับการทำงาน (functional protein) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในเซลล์ เอนไซม์เป็นโปรตีนสำหรับการทำงานเมื่อเทียบสัดส่วนของโปรตีนที่เป็นเอนไซม์กับโปรตีนในผักและผลไม้แล้วโปรตีนที่เป็นเอนไซม์มีน้อยมากแม้มีปริมาณน้อยแต่มีความสำคัญมากโดยมีผลควบคุมการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเนื้อเยื่อที่ยังมีชีวิตทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เอนไซม์ส่วนใหญ่มีการทำงานได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 4 – 8 ในผักและผลไม้แต่ละชนิดคล้ายกันยกเว้นในผักและผลไม้บางชนิดมี

เอนไซม์พิเศษที่ไม่พบในผักและผลไม้อื่น เช่น เอนไซม์ฟิซิน (ficin) ในมะเดื่อและโบรมีเลน (bromelain) ในสับปะรดซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีน เอนไซม์ peroxidase ทนความร้อนได้ดีกว่าเอนไซม์ชนิดอื่นซึ่งมีผลต่อการแปรรูปผักและผลไม้และเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นผิดปกติในผักและผลไม้แช่แข็ง เอนไซม์ phenolase และ polyphenol oxidase ทำให้เกิดสีคล้ำของผักและผลไม้เมื่อถูกตัดหรือชำแล้วสัมผัสกับอากาศ เอนไซม์ทั้งสองยังมีคุณสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ด้วย โดยกลไกการเกิดสีน้ำตาลเป็นกลไกการต่อต้านจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ เอนไซม์ ascorbic acid oxidase เป็นตัวเร่งการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีเป็นเอนไซม์ที่พบมากในผลไม้ เอนไซม์ในกลุ่ม pectolytic ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ แต่พบในผักและผลไม้ไม่กี่ชนิด เช่น มะเขือเทศ เอนไซม์ pectin methylesterase (PME, PE) ที่พบในเนื้อผลไม้ทั่วไปทำหน้าที่ย่อยกลุ่มเมทิลออกจากโมเลกุลเพกทินพบในผลไม้ตระกูลส้ม มะเขือเทศ แอปเปิล กล้วย มะละกอ และฝรั่ง เอนไซม์ polygalacturonase (PG) เป็นเอนไซม์ที่ตัดโพลีเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกพบในมะเขือเทศ อะโวคาโด และแพร์ เอนไซม์นี้ทำให้ผลไม้เนือนิ่มเมื่อสุก เอนไซม์ในกลุ่ม amylase ในเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมแป้งหรือสตาร์ชทำหน้าที่ควบคุมสมดุลการเปลี่ยนแปลงระหว่างแป้งและน้ำตาลทำให้ผลไม้มีรสหวานเมื่อสุก เอนไซม์บางชนิดมีความเกี่ยวข้องกับการผลิตกลิ่นเฉพาะตัวของพืช เช่น กลิ่นของหอม กระเทียม เกิดจากเอนไซม์ allinase ทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่มีกำมะถันทำให้เกิดกลิ่นฉุนเมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลาย

1.4.4 ลิพิด (lipid)

สารประเภทไขมันจัดอยู่ในกลุ่มของลิพิด ลิพิดในผักและผลไม้อยู่ในส่วนไซโตพลาสเช่นเดียวกับโปรตีน ลิพิดบางส่วนอยู่ที่ผิวของผนังเซลล์ ปริมาณลิพิดในผักและผลไม้ทั่วไปต่ำกว่าร้อยละ 1 ยกเว้นในผลไม้บางชนิด เช่น อะโวคาโด (มีลิพิดร้อยละ 5 – 32) โอลีฟสุก (ร้อยละ 15 – 25) ลิพิดที่อยู่ในผลพืชสวนอาจแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ อาหารสะสม สารปกคลุมผิว และองค์ประกอบของเมมเบรนต่าง ๆ

1.4.4.1 ลิพิดในรูปของอาหารสะสม

ลิพิดที่อยู่ในรูปของอาหารสะสมพบในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยจัดเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล กรดไขมัน (fatty acid) มีทั้งชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)

1.4.4.2 ลิปิดในรูปของสารปกคลุมผิว

ลิปิดอยู่ในรูปของแว็กซ์ (wax) คิวติน (cutin) และซูเบอร์ริน (suberin) โดยแว็กซ์เป็น fatty acid ester ของ monohydroxyalcohol ชนิดต่าง ๆ และมีสารอื่น ๆ ปะปนด้วย ในส่วนของ ซูเบอร์รินพบในชั้นคอร์ก (cork layer) และพบร่วมกับแว็กซ์ในเซลล์ของเพอริเดิร์ม (periderm) รวมทั้งใน lenticel ด้วย ส่วนคิวตินเป็นโพลิเมอร์ที่สลับซับซ้อนไม่ทราบโครงสร้างแน่นอน เช่นเดียวกับซูเบอร์รินและไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยตัวทำละลายไขมัน แว็กซ์และคิวตินอยู่รวมกัน ในชั้นของคิวติเคิลบนผิวของผักและผลไม้ โดยแว็กซ์ปกคลุมที่ผิวนอกสุด แว็กซ์ที่เป็นเส้นใย (filament) ยื่นออกมาจากผิวทำให้เกิดลักษณะนวลที่ผิวของผักและผลไม้ เช่น บนผลองุ่นหรือผลฟัก เมื่อใช้มือลูบผิวจะหายไปเกิดลักษณะเป็นมันเงาขึ้นแทนเพราะเส้นใยของแว็กซ์ถูกกดให้ราบเรียบลง ทั้งแว็กซ์และคิวตินทำหน้าที่ในการป้องกันการคายน้ำของผลิตผล

1.4.4.3 ลิปิดในเยื่อหุ้มต่าง ๆ อยู่ในรูปของ phospholipid (เป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรด phosphoric มาเกาะแทนที่กรดไขมัน 1 ตำแหน่ง) ในระหว่างชั้นของ phospholipid นี้มีโมเลกุลของโปรตีนแทรกอยู่ด้วยโดยเป็นเยื่อหุ้มมีเซลล์เยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียและเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์อื่นทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ซึ่งเยื่อหุ้มต่าง ๆ นั้นเสื่อมสภาพลงภายหลังการเก็บเกี่ยวทำให้เซลล์ขาดสมดุลและเกิดการเสื่อมสลายของผลิตผลในที่สุด

1.4.5 กรดอินทรีย์ (organic acids)

กรดอินทรีย์หลายชนิดในเนื้อเยื่อพืชเกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมตัวอย่างเช่น กรดอินทรีย์หลายชนิดในวัฏจักรเครบส์ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการหายใจและสลายคาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นพลังงาน กรดต่าง ๆ ถูกเก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืช กรดอินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ การสะสมกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อทำให้ผลไม้ส่วนมากมีสภาพเป็นกรด (pH ต่ำ) และไม่เหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อผลไม้สุกปริมาณกรดลดต่ำลง (ยกเว้นในกล้วยหอม) ผักบางชนิดมีสภาพเป็นกรดต่ำ เช่น ข้าวโพดหวานและพืชตระกูลถั่ว ในบรรดาผักทั้งหลายผักโขมมีปริมาณกรดสูงสุด กรดในผักโขมส่วนใหญ่เป็นกรดออกซาลิก กรดที่พบมากในพืชส่วนที่นำมาบริโภคได้คือ กรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) ซึ่งแต่ละชนิดอาจมีสูงกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนักสด มะนาวมีกรดซิตริกมากกว่าร้อยละ 3 ในผักและผลไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดซิตริกหรือกรดมาลิกเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งหรือมากกว่าในปริมาณมากที่สุด ยกเว้นในผลองุ่นที่มีกรดทาร์ทาริกมาก

ส่วนอะโวคาโดมีกรดซิตริกและมาลิกในปริมาณต่ำ ผลท้อและหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณกรดทั้งสองชนิดใกล้เคียงกัน กรดซิตริกพบมากในผลไม้ตระกูลส้ม แบลคเคอร์แรนท์ ราสเบอร์รี สตรอเบอร์รี ทับทิม บลูเบอร์รี สับปะรด และลูกแพร์ ส่วนผักพบในมันฝรั่ง มันเทศ ถั่ว ผักใบหลายชนิด มะเขือเทศ และ บิท สำหรับกรดมาลิกพบมากในแอปเปิล กล้วย และผลไม้พวก drupe เช่น เชอร์รี่ แอปริคอต ส่วน ผักพบมากในผักกาดหอม บร็อกโคลี่ ดอกกะหล่ำ กระเจี๊ยบเขียว หอมหัวใหญ่ แครอท ถั่วแขก ขึ้นฉ่าย และหัวผักกาดขาว ส่วนของพืชมีสัดส่วนของกรดแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น เปลือกส้มมีกรด มาลิกมากกว่ากรดซิตริก แต่ในน้ำส้มกรดซิตริกมากกว่า กรดบางชนิดมีการกระจายอยู่เฉพาะ ตำแหน่งในเซลล์พืช เช่น ในแอปเปิลพบกรดซิตริกและมาลิกที่เปลือกมากกว่าในส่วนเนื้อ

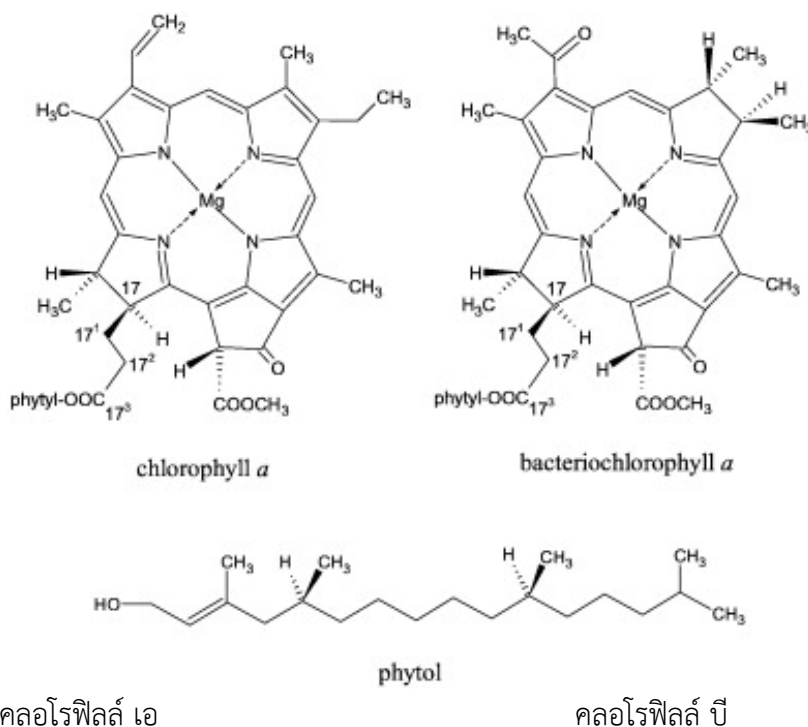
1.4.6 รงควัตถุ (pigments)

สีต่าง ๆ ในผักและผลไม้เกิดจากรงควัตถุที่อยู่ในเซลล์ รงควัตถุในพืชอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่คือรงควัตถุที่ละลายในไขมัน (พบในพลาสติด) ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ไลโคพีน และ ส่วนที่เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำ (พบในแวคิวโอล) ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน เบตาไซยานิน

1.4.6.1 คลอโรฟิลล์ (chlorophylls)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ละลายในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน เบนซีน คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงมีอยู่ประมาณ ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักสด คลอโรฟิลล์อยู่ในพลาสติดพิเศษที่เรียกว่า คลอโรพลาส และในส่วนของ คลอโรพลาสประกอบด้วยส่วนเล็กๆ จำนวนมากเรียกว่า กรานา (grana) กรานาประกอบด้วยโปรตีน เป็นชั้น ๆ และโมเลกุลของคลอโรฟิลล์แทรกอยู่ระหว่างชั้นเหล่านี้ ในพืชชั้นสูงพบคลอโรฟิลล์ 2 ชนิด คือคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี (ภาพที่ 1.6) โดยเกิดอยู่รวมกันในอัตราส่วน 2.5 ต่อ 1 คลอโรฟิลล์เป็นเอสเทอร์ของกรดไดคาร์บอกซิลิก (dicarboxylic acid) คือคลอโรไฟลลิน (chlorophyllin) กับแอลกอฮอล์ 2 ชนิดคือ เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) และไฟทิล แอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีโครงสร้างวงแหวนของคาร์บอนและ ไนโตรเจน (prophyrinring) โดยมีอะตอมของแมกนีเซียมอยู่ตรงกลาง เอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) ทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เอนไซม์นี้สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ใน เนื้อเยื่อของพืชสีเขียวทั่วไปแต่ถั่วลันเตา ถั่วแขก มะเขือเทศ และหน่อไม้ฝรั่งไม่มีเอนไซม์นี้ การ สูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ของผลผลิตอาจเป็นที่ต้องการหรือไม่ต้องการก็ได้ เช่น การสูญเสียสี

เขียวในผลไม้แสดงถึงคุณภาพที่เหมาะสมแก่การบริโภคแต่ผักสดต่าง ๆ แสดงถึงสีเหลืองซึ่งไม่สามารถบริโภคได้ การป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์อาจทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลและการปรับสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาให้มีออกซิเจนต่ำเพื่อลดการเกิดออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ (double bond) ใน prophyrin ring



ภาพที่ 1.6 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี

ที่มา: Fiedor และคณะ (2008)

1.4.6.2 แคโรทีนอยด์ (carotenoids)

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง โมเลกุลมีโครงสร้างแกนหลักเป็นไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) สีของแคโรทีนอยด์ขึ้นกับพันธะคู่ในโมเลกุลสารที่มีโครงสร้างเหมือนกันแต่มีจำนวนพันธะคู่น้อยกว่า เช่น ไฟโทอีน (phytoene) และไฟโทฟลูอีน

(phytofluene) ซึ่งพบในพืชที่เป็นอาหารบางชนิดไม่มีสี อาจแบ่งแคโรทีนอยด์เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ แคโรทีน (carotenes) และแซนโทฟิล (xanthophyll) กลุ่มของแคโรทีนเป็นสารที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมันรวมทั้งไลโคพีน (lycopene) แคโรทีนจัดเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A) เปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกายของคนและสัตว์ซึ่งมีความสำคัญทางโภชนาการ แคโรทีนพบมากในฟักทอง มันเทศ และแครอท โดยแคโรทีนเป็นสารให้สีเหลืองหรือสีส้มแดงในพืชเหล่านี้ ส่วนไลโคพีนมีมากในมะเขือเทศถึงร้อยละ 90 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ชื่อของไลโคพีน มาจากชื่อ genus ของมะเขือเทศคือ *Lycopersicon*) และยังพบมากในแตงโม และแอปริคอต ไลโคพีนมีสีค่อนข้างแดงทำให้ผลไม้เหล่านี้เมื่อสุกมีสีไปทางสีแดง กลุ่มของแซนโทฟิลสามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วมากกว่ากลุ่มของแคโรทีน แซนโทฟิลในเนื้อเยื่อของผลไม้อยู่ในรูปของเอสเทอร์โดยชนิดที่พบมากคือ ซีแซนทีน (zeaxanthin) หรือเบต้าแซนโทฟิล (β -xanthophyll) หรือลิวทีน (lutein) พบในข้าวโพดหวาน และฟักทอง ส่วยแคปแซนทีน (capsanthin) เป็นสารสีแดงพบมากในพริกหวาน ในพืชตระกูลส้มส่วนใหญ่พบคริปโตแซนทีน (cryptoxanthin) พืชมีแคโรทีนประมาณร้อยละ 0.005 และยังมีแซนโทฟิลร้อยละ 0.008 ของน้ำหนักสด นับว่ามีปริมาณน้อยมาก รังควาญทั้งสองชนิดนี้เกิดร่วมกับคลอโรฟิลล์ในส่วนของคลอโรพลาสต์ทำให้ถูกบดบังด้วยสีเขียวของคลอโรฟิลล์ แต่เมื่อคลอโรฟิลล์ถูกทำลายหรือสลายไปเช่นในผิวผลไม้ที่สุกรวมทั้งเนื้อเยื่อที่มีอายุมากจึงปรากฏสีเหลืองจนถึงสีส้มแดงของแคโรทีนและแซนโทฟิล ส่วนเนื้อเยื่อที่ไม่มีคลอโรฟิลล์แคโรทีนอยู่ในรูปของผลึกเล็ก ๆ ในส่วนของไซโตพลาสหรือพลาสทิดมีขนาดเล็กที่เรียกว่าโครโมพลาส (chromoplast)

จากตารางที่ 1.1 ผักสด 9 ชนิด ได้แก่ ขึ้นฉ่าย ใบกระเพราแดง ผักบุ้งจีน แครอท กระถิน ต้นหอม ผักชีฝรั่ง ผักชีลาว และกะหล่ำปลี นำมาสกัดด้วยอะซิโตนและวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 655.50 – 1744.90 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยผักที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดคือ กระถิน มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 1744.90 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณต่ำที่สุดคือขึ้นฉ่ายมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 655.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งงานวิจัยนี้ถือเป็นแนวทางในการเลือกรับประทานผักที่หลากหลาย

ตารางที่ 1.1 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผักสด

ลำดับ	ผัก	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	ขึ้นฉ่าย	655.50 ± 23.56
2	ใบกระเพราแดง	1671.91 ± 0.00
3	ผักบุ้งจีน	1690.96 ± 0.00
4	แครอท	878.84 ± 14.74
5	กระถิน	1744.90 ± 0.00
6	ต้นหอม	1705.59 ± 17.13
7	ผักชีฝรั่ง	1659.33 ± 41.71
8	ผักชีลาว	1719.49 ± 3.84
9	กะหล่ำปลี	920.79 ± 0.00

ที่มา: ชีรนาก (2560)

1.4.6.3 ฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

ฟลาโวนอยด์จัดเป็นกลุ่มของรงควัตถุที่สำคัญในผักและผลไม้ซึ่งแบ่งได้หลายกลุ่มดังนี้

1) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง น้ำเงิน หรือม่วง โดยสามารถบดบังสีเขียวและเหลืองของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่พบในองุ่นโดยสีของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงขึ้นกับปัจจัยดังนี้

(1) ความเป็นกรดต่าง ในสภาวะต่างแอนโทไซยานินมีสีน้ำเงิน ในสภาวะกรดเป็นสีแดงแต่ถ้าความเป็นกรดต่างสูงขึ้นความเข้มของสีลดลง

(2) ความเข้มข้น เช่น เดลฟินิดิน (delphinidin) เมื่อเจือจางมีสีน้ำเงินเข้ม แต่เมื่อความเข้มข้นมากขึ้นมีสีแดงและถ้าเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีกมีสีม่วงขึ้นกับสารอื่นที่อยู่ในระบบ เช่น ถ้า

มีแทนนินร่วมอยู่ด้วยสีเข้มขึ้นสีจากแอนโทไซยานินไม่เสถียร แอนโทไซยานินถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ในผักและผลไม้ได้แอนโทไซยานิดินอิสระซึ่งถูกออกซิไดซ์ต่อโดยเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส (phenoloxidase) ที่อยู่ในเนื้อเยื่อได้เป็นสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้ถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแอสคอร์บิก ดังนั้นเมื่อผักและผลไม้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจึงบ่งบอกว่ากรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้ถูกทำลายหมดแล้ว ในส่วนของสารฟลาโวนอยด์อื่นซึ่งอาจมีสีอ่อนหรือไม่มีสีสามารถถูกออกซิไดซ์ได้สารสีน้ำตาลเช่นเดียวกับสารแอนโทไซยานิน

2) แอนโทแซนทิน (anthoxanthins) มีสีเหลืองไปจนถึงไม่มีสี

3) ลิวโคแอนโทไซยานิน (leucoanthocyanins) และเคทิชิน (catechins) พบมากในพืชยืนต้น ส่วนพืชล้มลุกใบเลี้ยงคู่พบน้อยเป็นสารไม่มีสีและเมื่อสารเหล่านี้รวมกับอนุพันธ์ของกรดอะโรมาติกบางชนิด เช่น กรดแกลลิก (gallic acid) ทำให้เกิดแทนนิน (tannin) ในผัก

4) สารประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องกับฟลาโวนอยด์ ส่วนมากมีสถานะเป็นกรดซึ่งมีวงแหวนเบนซินและหมู่ไฮดรอกซิลคล้ายกับส่วนหนึ่งของสารฟลาโวนอยด์ สารประกอบเหล่านี้ได้แก่สารประกอบฟีนอล (phenolic compound) เช่น caffeic acid quinic acid chlorogenic acid cinnamic acid gallic acid tannic acid betanidin และ betanine ทั้งนี้อาจเกิดการรวมตัวกันในสถานะที่เหมาะสมเกิดเป็นสารที่มีสีเข้ม เช่น บีทไม่มีแอนโทไซยานินแต่มีเบทานิดิน (betanidin) ซึ่งเป็นสารให้สีแดง

1.4.7 สารประกอบฟีนอล (phenolic compound)

สารประกอบฟีนอล ได้แก่ สารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์หลายประการคือ

1.4.7.1 สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลหลายชนิดสามารถป้องกันหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิดได้รวมทั้งด้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบ เช่น สารประกอบฟีนอลที่สกัดจากผลเบอร์รี่

1.4.7.2 ทำให้เกิดรสฝาด

รสฝาดของผลไม้หลายๆ ชนิดขึ้นกับปริมาณสารประกอบฟีนอลในผลไม้ส่วนใหญ่รสฝาดลดลงหรือหมดไปเมื่อผลไม้แก่สมบูรณ์หรือสุก

1.4.7.3 ทำให้เกิดรสขม

ผลไม้จำพวกส้มซึ่งมีสารนารินจิน (naringin) โดยสารนี้เป็นสารประกอบฟีนอลที่ให้รสขมสูง ส่วนรสขมในพืชวงศ์แตงเกิดจากสาร cucurbitacin เป็นสารพวก triterpenoids

1.4.7.4 ทำให้เกิดสี

แอนโทไซยานินซึ่งเป็นฟีนอลอย่างหนึ่ง การเกิดสีน้ำตาลเมื่อปอกเปลือกผลไม้ทั้งไว้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็น quinone แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นและมีสีน้ำตาล ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้สามารถยับยั้งได้โดยป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเดชันโดย PPO ซึ่งทำได้โดยให้มีการสัมผัสกับออกซิเจนน้อยที่สุด เช่น การปอกผลไม้แล้วแช่ในน้ำยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO หรือการลวกหรือแช่ผลไม้ที่ปอกเปลือกแล้วในสารละลายกรดหรือใช้กรดแอสคอร์บิกปรีดิวิซ์ quinone ไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น

1.4.8 แร่ธาตุ (minerals)

ปริมาณแร่ธาตุรวมในผักและผลไม้แสดงได้จากปริมาณเถ้าทั้งหมดซึ่งมีตั้งแต่ปริมาณร้อยละ 0.1 – 4.4 โดยทั่วไปผักมีแร่ธาตุมากกว่าผลไม้ พืชดูดแร่ธาตุจากดินโดยเลือกเฉพาะแร่ธาตุที่ต้องการ ในพืชต่างชนิดกันมีปริมาณแร่ธาตุต่างกัน การให้ปุ๋ยแก่ต้นไม้มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุบางชนิดในพืช และยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผักและผลไม้ การขาดแคลนแร่ธาตุทำให้การเจริญเติบโตของพืชผิดปกติให้ผลผลิตที่มีคุณภาพต่ำและยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การขาดแคลเซียมทำให้เกิดอาการยอดไหม้ (tip burn) ในผักกาดหอมและอาการ bitter pit (ผิวด้านนอกมีจุดสีดำหรือน้ำตาลเนื้อเยื่อบวมลึกลงไปและเป็นสีน้ำตาล) ตัวอย่างในแอปเปิล และสาลี่ แร่ธาตุที่พบมากในพืชเรียกว่า มาโครนิวเทรียนท์ (macronutrients) โดยแร่ธาตุเหล่านี้คือโปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส กำมะถัน ไนโตรเจน และยังมีพบโซเดียม อลูมิเนียม และซิลิคอน แร่ธาตุสามชนิดหลังนี้แม้พบมากแต่ไม่มีความสำคัญต่อพืช แร่ธาตุอีกกลุ่มที่มีปริมาณน้อยแต่มีความสำคัญเรียกว่า ไมโครนิวเทรียนท์ (micronutrients) ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน ในพืชบางชนิดยังพบซิลิเนียมอีกด้วย เช่น กระเทียม เห็ด แร่ธาตุเหล่านี้การกระจายอยู่ในส่วนของพืชไม่สม่ำเสมอ นอกจากนั้นมลพิษและเคมีภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการเพาะปลูกยังพบอยู่ในส่วนอื่นของพืชโดยเฉพาะโคบอลต์ โครเมียม นิเกิล แคดเมียม ตะกั่ว อาร์เซนิก

และปรอท แร่ธาตุที่พบมากที่สุดในผักและผลไม้คือ โพแทสเซียม ซึ่งพบในปริมาณ 60 – 600 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ผักที่มีโพแทสเซียมมาก เช่น พาสเลย์ (parsley) คิดเป็นน้ำหนักสดมากกว่าร้อยละ 1

1.4.9 สารให้กลิ่นรส (flavor constituents)

กลิ่นและรสชาติของผักและผลไม้แต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะซึ่งเกิดจากสารให้กลิ่นและรสชนิดต่าง ๆ ผสมกันมากกว่า 100 ชนิดขึ้นไปแต่อาจมีสารชนิดใดชนิดหนึ่งมากเป็นพิเศษซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะตัวของผักและผลไม้ กลิ่นของผักและผลไม้เกิดจากสารระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งระเหยได้ดีที่อุณหภูมิห้อง พืชสามารถใช้แคโรทีนซึ่งเป็นสารสีอย่างหนึ่งในการสร้างสารระเหยที่ให้กลิ่น บางครั้งอาจอยู่ในรูปของน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ที่เก็บในส่วนของเปลือกหรือใบ เช่น เปลือกส้ม กลิ่นฉุนในผักบางชนิดได้แก่ หอม และกระเทียม โดยเกิดจากสารประกอบที่มีกำมะถันมาก เช่น isothiocyanate และสารประกอบซัลไฟด์ (sulphides) รสชาติเกิดจากการผสมผสานของหลายรสได้แก่ รสหวานจากน้ำตาล รสเปรี้ยวจากกรดอินทรีย์ ส่วนรสขมจากสารประกอบฟีนอลหรือฟลาโวนอยด์ แต่เกลือในผักและผลไม้มีปริมาณไม่สูงพอที่จะให้เกิตรสเค็ม ชนิดและปริมาณของสารเปลี่ยนไปในระหว่างการสุกของผลไม้ทำให้ผลไม้สุก มีกลิ่นที่เปลี่ยนไปจนสามารถใช้เป็นข้อสังเกตการสุกได้ เช่นเดียวกับรสชาติเปรี้ยวหวานและรสขมซึ่งสลายไปเมื่อผลไม้สุก

1.4.10 วิตามิน (vitamin)

ผักและผลไม้เป็นแหล่งวิตามินที่สำคัญโดยเฉพาะวิตามินเอ และซี วิตามินเออยู่ในรูปของแคโรทีน โดยปริมาณแคโรทีนในผลิตผลขึ้นอยู่กับอายุในการเก็บเกี่ยว เช่น ผลมะเขือเทศมีการสร้างแคโรทีนเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการสุก แต่แคโรทีนอาจลดลงถ้าพืชมีการสูญเสียมากในระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) ในผักและผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมากกว่าวิตามินชนิดอื่นโดยผักรับประทานใบและช่อดอกมีการสูญเสียวิตามินซีค่อนข้างสูงแต่ผลไม้มีการสูญเสียวิตามินซีไม่มากนัก การสูญเสียวิตามินซีเกิดได้จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเช่น ascorbic acid oxidase polyphenol oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลิตผลหรือเกิดจากออกซิเดชันที่ไม่ใช่เอนไซม์แต่มีโลหะหนัก เช่น ทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดซิตริกและกรดมาลิกสามารถยับยั้งการสลายตัวของวิตามินซีได้เพราะมีคุณสมบัติในการจับกับไอออนของ

โลหะเอาไว้ สภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษามีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวของวิตามินซี อุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียวิตามินซีมีมากขึ้น ยกเว้นในมันฝรั่งและมันเทศกลับพบว่าอุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าอุณหภูมิสูง การสูญเสียน้ำออกจากผลผลิตทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีมากขึ้น ปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศของการเก็บรักษาที่มีออกซิเจนสูง (เช่น ที่ร้อยละ 21) มีการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าเมื่อมีปริมาณออกซิเจนต่ำ (เช่น ที่ร้อยละ 4.2) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของการเก็บรักษามีผลไม่แน่นอนต่อการสูญเสียวิตามินซีโดยถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของการเก็บรักษามีความเข้มข้นต่ำ (เช่น ที่ร้อยละ 1) ช่วยชะลอการสูญเสียแต่ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง (เช่น ที่ร้อยละ 6) ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีได้ ส่วนปริมาณของวิตามินบีชนิดต่าง ๆ เช่น thiamine (B1) riboflavin (B2) pyridoxine (B6) ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนักภายหลังการเก็บเกี่ยว

1.4.11 สารพิษ (toxin)

ผักและผลไม้บางชนิดอาจมีสารพิษอยู่ตามธรรมชาติ แต่มีอยู่ในปริมาณน้อยจนไม่ทำให้เกิดอันตราย แต่อาจเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับอาหารเด็กอ่อนหรือสำหรับผู้รับประทานอาหารมังสวิรัต เนื่องจากรับประทานผักและผลไม้เป็นจำนวนมากกว่าคนปกติ ตัวอย่างสารพิษเช่น antitrypsin ในพืชตระกูลถั่วซึ่งขัดขวางการใช้กรดอะมิโนทริปซินทำให้เสียคุณค่าทางโภชนาการแต่สารนี้ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ดังนั้นถ้าทำให้ถั่วสุกก่อนบริโภคไม่เกิดปัญหานี้ ผักบางชนิดปกติไม่มีสารพิษแต่ในสภาวะการปลูกที่มีการรบกวนจากโรคและแมลงอาจมีการสร้างสารพิษขึ้นมาเช่น ในมันเทศมีสาร ipomeamarone ซึ่งมีพิษต่อตับบางครั้งสารพิษอาจเกิดจากจุลินทรีย์ที่มีการเจริญและสร้างสารพิษซึ่งโดยมากเป็นเชื้อรา สารพิษที่เชื้อราสร้างและเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ อะฟลาทอกซิน (aflatoxin) สร้างโดย *Aspergillus flavus* และ *A. paraheamolyticus* พบในถั่ว ข้าวโพด และเครื่องเทศแห้ง

1.5 สรุป

ผักหมายถึงเนื้อเยื่อที่มาจากส่วนต่างๆ ของพืชที่สามารถนำมาบริโภคได้เกือบทุกส่วนทั้งในรูปของการบริโภคสดหรือปรุงสุกในขณะที่ผลไม้มีเมล็ดอยู่ภายในมีเนื้อผลไม้หุ้มเมล็ดการบริโภคได้ในส่วนที่เป็นเนื้อผล โครงสร้างของผักและผลไม้แบ่งตามหน้าที่ได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ เนื้อเยื่อป้องกัน เนื้อเยื่อพื้นฐาน เนื้อเยื่อค้ำจุน และเนื้อเยื่อลำเลียง โครงสร้างเหล่านี้ทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ที่อยู่

ภายใน เป็นเนื้อในส่วนที่บริโภค ทำหน้าที่ค้ำจุนโครงสร้าง และทำหน้าที่ขนส่งสารต่างๆ ภายในเนื้อเยื่อ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้ประกอบด้วยน้ำ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและเอนไซม์ ลิพิด กรดอินทรีย์ รงควัตถุ สารประกอบฟีนอล แร่ธาตุ สารให้กลิ่นรส วิตามิน และสารพิษ

แบบฝึกหัด

1. จงอธิบายความหมายของผัก และผลไม้
2. โครงสร้างเนื้อเยื่อพื้นฐานของพืชมีอะไรบ้าง ทำหน้าที่อย่างไร
3. จงบอกความแตกต่างของเส้นใยและสเคลอริด
4. องค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้มีอะไรบ้าง
5. ลิพิดที่อยู่ในพืชแบ่งเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่อะไรบ้าง

เอกสารอ้างอิง

- ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2560). ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผักสด. *วารสารการเกษตรราชภัฏ*, 16(2), 40–45.
- Britannica, T. (2019). parenchyma. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/parenchyma-plant-tissue>
- Fiedor, L., Kania, A., Myśliwa-Kurdziel, B., Orzeł, Ł., & Stochel, G. (2008). Understanding chlorophylls: central magnesium ion and phytol as structural determinants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1777(12), 1491-1500.
- Landrigan, M., Sarafis, V., Morris, S.C. & McGlasson, W.B. (1994). Structural aspects of rambutan (*Nephelium lappaceum*) fruits and their relation to postharvest browning, *Journal of Horticultural Science*, 69(3), 571–579. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516489>
- López-Salmerón, V., Cho, H., Tonn, N., & Greb, T. (2019). The phloem as a mediator of plant growth plasticity. *current biology:CB*, 29(5), R173–R181. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.01.015>
- Molnar, C., & Gair, J. (2015). *Concepts of Biology – 1st Canadian Edition*. BC campus. Retrieved from <https://opentextbc.ca/biology/>
- Radovich, T.J.K. (2011). Biology and Classification of Vegetables. In Sinha, N.K., Hui, Y.H., Evranuz, E.O., Siddiq, M., Ahmed, J. (Eds.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 1–23). Blackwell.
- Schüler, P., Speck, T., Bührig-Polaczek, A., & Fleck, C. (2014). Structure-function relationships in *Macadamia integrifolia* seed coats-fundamentals of the Hierarchical microstructure. *PLoS ONE*, 9.

บทที่ 2 ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวจากต้นแล้วยังคงมีกระบวนการเมแทบอลิซึมที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทั้งทางสรีรวิทยาและชีวเคมีภายในตัวพืชและการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ไปสู่การเสื่อมสลายของพืช เช่น การเปลี่ยนสีของใบคะน้าจากสีเขียวเป็นสีเหลือง การสุกของกล้วยน้ำว้าจากเปลือกสีเขียวเป็นสีเหลือง การหลุดร่วงของผล เช่น ผลลองกอง การนิ่มของผลไม้ เช่น มะม่วงดิบเปลี่ยนเป็นมะม่วงสุก ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในผักและผลไม้นี้ดังกล่าวสามารถชะลอหรือยับยั้งการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการนำเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ เข้ามาช่วย เช่น การใช้อุณหภูมิต่ำร่วมกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง การใช้สารเคลือบผิว รวมทั้งการใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น

2.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว

2.1.1 ผลผลิตเป็นสิ่งมีชีวิต (living tissue)

หลังการเก็บเกี่ยวพืชยังคงมีชีวิตแต่ถูกตัดการลำเลียงสารต่าง ๆ จากต้น เช่น น้ำ แร่ธาตุ รวมทั้งสารอนินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม กระบวนการสังเคราะห์สารทางชีวเคมี (anabolic stage) หยุดลง กระบวนการเมแทบอลิซึมที่ดำเนินต่อหลังการเก็บเกี่ยวนี้มีผลต่อคุณภาพของพืชผลทำให้เกิดลักษณะที่ไม่ต้องการ เช่น การคายน้ำ ส่วนลักษณะที่ต้องการ เช่น การสุกของผลไม้

2.1.2 มีปริมาณน้ำสูง (high in water content)

ผลผลิตทางพืชสวนมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 70 – 95 ทำให้มีลักษณะที่สูญเสียได้ง่าย

2.1.3 เน่าเสียง่าย (subject to pathological breakdown)

เนื่องจากผลิตผลทางพืชสวนส่วนใหญ่มีน้ำมาก และมีผิวไม่แข็งแรงทำให้เกิดการบอบช้ำได้ง่าย ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพทางสรีระและอาจเร่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีให้เกิดเร็วขึ้นตามด้วยการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์

2.1.4 มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้หลายแบบ (vary diverse in morphological structure)

ราก ใบ ลำต้น ดอกหรือผลมีส่วนประกอบทางเคมี ลักษณะทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตเหล่านี้แตกต่างกัน รวมทั้งอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ก็ไม่เท่ากัน ถ้าส่วนของพืชเป็นพื้นที่ใช้ขยายพันธุ์ เช่น เมล็ด ราก หัว เหง้า และแง่มมีความสามารถในการพักตัวตามธรรมชาติเมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม ในช่วงพักตัวนี้เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่ำทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อน้อยมากแต่ทั้งนี้การพักตัวเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อเนื้อเยื่อนั้นมีอายุเหมาะสมหรือได้รับการเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่ถูกต้องและเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมเนื้อเยื่อเหล่านี้ก็สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้

2.2 การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้

2.2.1 การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการเผาผลาญอาหารสะสมซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น แป้ง ไขมัน น้ำตาล และโปรตีน การเผาผลาญทำให้ได้สารประกอบที่มีโมเลกุลเล็กไม่ซับซ้อนและได้พลังงานออกมา การหายใจของพืชมีการใช้ออกซิเจนและคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การสูญเสียอาหารสะสมส่งผลให้กระบวนการเสื่อมคุณภาพเกิดเร็วมากขึ้น

2.2.1.1 การหายใจที่ใช้ออกซิเจน

การหายใจแบบนี้เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานโดยมีกรดอินทรีย์ เอนไซม์ และโคเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันของน้ำตาลที่สมบูรณ์

2.2.1.2 การหายใจที่ไม่ใช้ออกซิเจน

การหายใจแบบนี้อาจเรียกว่าการหมัก (fermentation) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้ในปริมาณจำกัดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการสลายน้ำตาลกลูโคสผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสเช่นเดียวกัน แต่กรดไพรูวิกถูกเปลี่ยนต่อเป็นกรดแลกติกหรือสารประกอบอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ อะซิตัลดีไฮด์ เป็นต้นเมื่อวัตถุดิบที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราการหายใจมีความสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างทางพืชสวนของผลิตผลโดยผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่ออ่อนได้แก่ ยอด ตาดอก เมล็ดอ่อน พืชที่ยังไม่เจริญเต็มที่ (ข้าวโพดหวาน เห็ด กระเจี๊ยบเขียว) ส่วนผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อสะสมอาหารได้แก่ ราก ลำต้นใต้ดิน หัว ผลิตผลที่แก่จัด ส่วนผลิตผลที่มีอัตราการหายใจระดับปานกลางได้แก่ ผลิตผลที่ยังไม่สุก และผักใบ

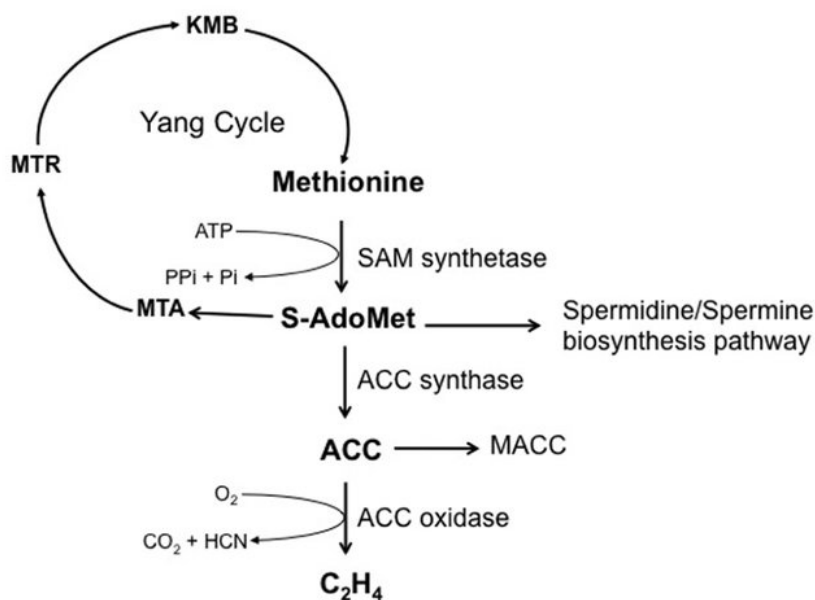
โดยปกติก่อนที่ผลไม้สุก (pre-climacteric phase) ผลไม้มีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำ และเมื่อถึงระยะสุก (climacteric phase) อัตราการหายใจสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่มีอัตราการหายใจสูงสุดซึ่งเป็นระยะที่ผลไม้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการรับประทานมากที่สุดจากนั้นอัตราการหายใจจึงลดลง ลักษณะของการหายใจระหว่างการสุกของผลไม้สามารถใช้จำแนกชนิดของผลไม้ได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือ ผลไม้ที่มีช่วงไคลแมกทริก (climacteric fruit) หรือผลไม้ที่มีการสุกเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงในช่วงของการสุก ผลไม้ในกลุ่มนี้สามารถเก็บเกี่ยวเมื่อแก่จัดแล้วนำมาบ่มให้สุกได้ ส่วนกลุ่มที่สองคือผลไม้ที่ไม่มีช่วงไคลแมกทริก (non-climacteric fruit) เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจไม่เปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเกิดช้า ๆ และโดยทั่วไปไม่สามารถบ่มสุกหลังการเก็บเกี่ยวจึงเก็บเกี่ยวเมื่อสุกบนต้น

อัตราการหายใจของผักและผลไม้มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องได้แก่ 1) อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิที่เก็บรักษาผักและผลไม้เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นด้วย การลดอุณหภูมิ นอกจากลดอัตราการหายใจแล้วยังช่วยลดความร้อนที่เกิดจากการหายใจด้วย 2) ความบอบช้ำ พืชผลที่ข้ามีอัตราการหายใจสูงเช่นแครอทที่ข้ามีอัตราการหายใจสูงขึ้นถึง 5 เท่า แต่ก็มีข้อยกเว้นในผักผลไม้บางชนิดเช่น แอปเปิ้ลที่ข้ามีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจไม่มากนัก 3) การปอกเปลือกของพืชตระกูลถั่ว ถั่วลันเตาที่แกะจากฝักพบว่ามีการหายใจสูงขึ้นแต่ในถั่วบางชนิดก็ไม่เป็นไปตามนี้ 4) การงอก เนื้อเยื่อที่มีการงอกส่งผลให้อัตราการหายใจสูงขึ้น 5) ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ สภาพบรรยากาศปกติประกอบด้วยออกซิเจนร้อยละ 21 และ

คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.3 การลดปริมาณออกซิเจนและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของบรรยากาศที่เก็บรักษาทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้ลดลงได้แต่อย่างไรก็ตามการปรับความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองต้องเหมาะสมจึงสามารถควบคุมอัตราการหายใจของผักและผลไม้ได้ 6) เอทิลีน เป็นก๊าซที่ผลิตออกมาจากเนื้อเยื่อพืชระหว่างการสุก เอทิลีนมีผลต่ออัตราการหายใจโดยในผลไม้ที่มีช่วงโคลแมกทริกเอทิลีนช่วยเร่งให้เกิดโคลแมกทริกเร็วขึ้น (เร่งการสุก) แต่ไม่ได้ทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้น สำหรับผักและผลไม้ที่ไม่มีช่วงโคลแมกทริกเอทิลีนสามารถทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นได้แต่ต้องใช้เอทิลีนในปริมาณมาก

2.2.2 การผลิตเอทิลีน (ethylene)

เอทิลีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด (C_2H_4) ที่สามารถทำให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาได้ เอทิลีนมีสถานะเป็นก๊าซที่ไม่มีสีแต่มีกลิ่นเล็กน้อย เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งให้เกิดการเสื่อมสลาย (senescence) และกระบวนการสุกโดยสามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในพืชเมื่อพืชได้รับเอทิลีนในปริมาณที่น้อยมาก (ในบางกรณีอาจน้อยกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน) ผลผลิตพืชสวนที่สามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้มากได้แก่ อะโวคาโด เสาวรส มะละกอ ถั่ว และแอปเปิล เป็นต้น กระบวนการผลิตเอทิลีนเริ่มต้นจากกรดอะมิโนเมไทโอนีน (methionine) เปลี่ยนเป็น s-adenosyl methionine (SAM) และต่อมาถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยเอนไซม์ ACC synthase จากนั้น ACC ถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นเอทิลีนโดยเอนไซม์ ACC oxidase (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 การสังเคราะห์เอทิลีน

ที่มา: Arc และคณะ (2013)

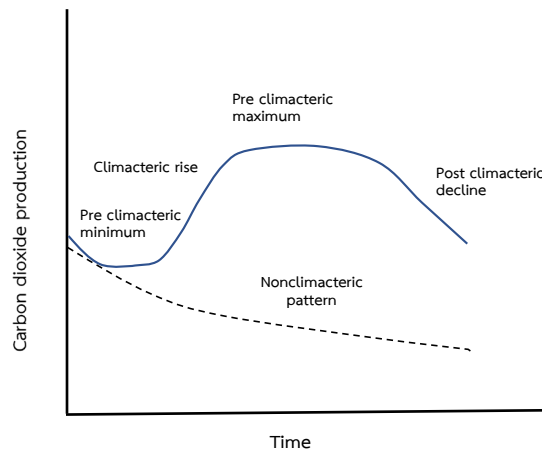
ผลไม้ทุกชนิดมีการผลิตเอทิลีนไม่มากนักในช่วงการเจริญเติบโต (development) แต่อัตราการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อถึงช่วงการสุก ผลผลิตที่เกิดบาดแผลชอกช้ำหรือเป็นโรครวมทั้งการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาขึ้นไปมีผลทำให้การสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นด้วยในทางตรงข้ามเมื่อเก็บรักษาพืชผลที่อุณหภูมิต่ำหรือที่มีออกซิเจนต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 8) และคาร์บอนไดออกไซด์สูง (สูงกว่าร้อยละ 2) การสังเคราะห์เอทิลีนของพืชมีปริมาณลดลงเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการสังเคราะห์เอทิลีนแล้วผลไม้ที่มีและไม่มีช่วงไคลแมกทริกความสามารถในการสังเคราะห์เอทิลีนแตกต่างกัน (ภาพที่ 2.2 และตารางที่ 2.1)

2.2.2.1 ผลไม้ที่มีช่วงไคลแมกทริก (climacteric fruit)

ผลไม้ที่มีช่วงไคลแมกทริกเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงขึ้นและอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนมากขึ้นในช่วงของการสุกโดยเฉพาะช่วงต้นของการเกิดไคลแมกทริก ผลไม้ชนิดนี้จึงสามารถเก็บเกี่ยวเมื่อแก่จัดแล้วนำมาบ่มให้สุกได้และเป็นผลไม้ที่มีความไวต่อเอทิลีน การผลิตเอทิลีนในผลไม้ที่มีช่วงไคลแมกทริกมากกว่าผลไม้ที่ไม่มีช่วงไคลแมกทริก

2.2.2.2 ผลไม้ที่ไม่มีช่วงไคลแมกทริก (non-climacteric fruit)

ผลไม้ที่ไม่มีช่วงไคลแมกทริกเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนไม่เปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวและเก็บเกี่ยวผลไม้เมื่อสุกบนต้น เพราะโดยทั่วไปไม่สามารถบ่มสุก



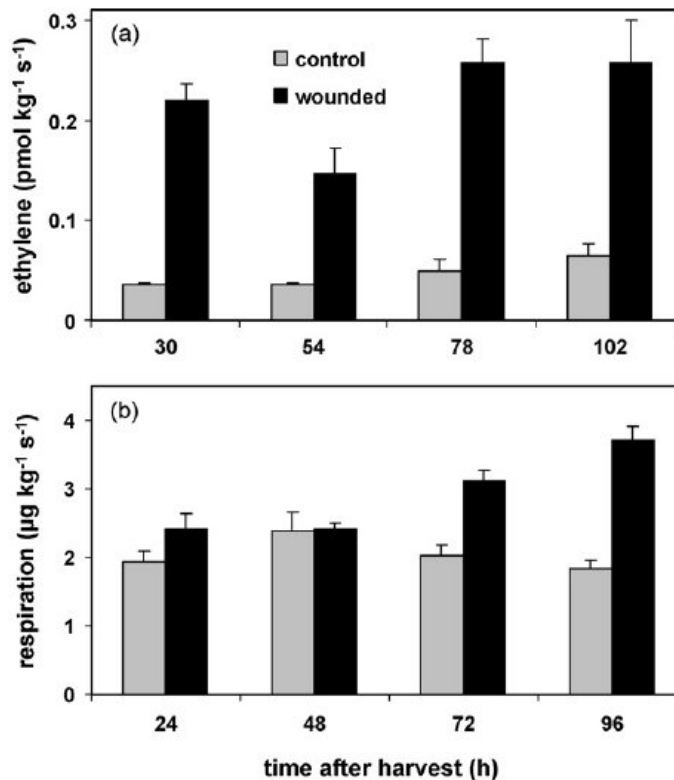
ภาพที่ 2.2 ความแตกต่างของไคลแมกทริก และนอน-ไคลแมกทริกในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว
ที่มา: Saltveit (2004)

ตารางที่ 2.1 ผักและผลไม้ที่จำแนกตามไคลแมกทริก และนอน-ไคลแมกทริก

ผักและผลไม้ประเภทไคลแมกทริก	ผักและผลไม้ประเภทนอน-ไคลแมกทริก
แอปเปิล	บลูเบอร์รี่
กล้วย	แตงกวา
ฝรั่ง	องุ่น
มะม่วง	ส้มโอ
มะละกอ	มะนาว
แตงโม	ส้ม
มะเขือเทศ	สับปะรด
มะเดื่อ	สตอเบอรี่

ที่มา: Saltveit (2004)

บทบาทของเอทิลีนต่อผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวมีทั้งประโยชน์และโทษ ประโยชน์ของเอทิลีนได้แก่การใช้ในการบ่มผลไม้ให้สุกอย่างสม่ำเสมอและใช้ในการกำจัดสีเขียว (degreening) ของผลไม้ตระกูลส้มและมะนาว ส่วนโทษของเอทิลีนได้แก่การเร่งการเสื่อมสภาพโดยเร่งตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้ผักที่มีสีเขียวเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลือง เร่งการงอกของหัวมันฝรั่งในระหว่างการเก็บรักษา ดอกไม้ร่วงโรยก่อนกำหนด เกิดจุดสีน้ำตาลแดง (russet spot) ที่ก้านใบของผักกาดหอม รวมทั้งมีผลต่อรสชาติโดยทำให้เกิดรสขมในแครอทที่ได้รับเอทิลีนในปริมาณสูงเนื่องจากถูกกระตุ้นให้สร้างสาร isocoumarin ขึ้นนอกจากนี้ยังมีผลต่อปริมาณซูโครสใน sugarbeet root ซึ่งเป็นพืชตระกูลผักกาดชนิดหนึ่งที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสสูงโดยนำไปผลิตน้ำตาลเชิงพาณิชย์ การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจเป็นสาเหตุให้คุณภาพของ sugarbeet root สุกสุกไประหว่างการเก็บรักษา อัตราการหายใจของ sugarbeet root มีผลต่อการสลายตัวของซูโครสประมาณร้อยละ 50 – 80 ส่วนเอทิลีนถูกชักนำจากการเกิดบาดแผลซึ่งในภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของเอทิลีนตลอด 4 วัน โดยมีปริมาณเฉลี่ย 0.047 พิโคโมลต่อกิโลกรัมวินาที และเมื่อ sugarbeet root มีบาดแผลส่งผลให้มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น 3.7 เท่า โดยที่บาดแผลไปเพิ่มอัตราการหายใจหลังเก็บรักษาผ่านไป 3 วัน (Fugate และคณะ, 2010)



ภาพที่ 2.3 การผลิตเอทิลีน (a) และอัตราการหายใจ (b) ของ sugarbeet root ที่ไม่มีบาดแผล (ชุดควบคุม) และที่มีบาดแผลระหว่างการเก็บรักษา 4 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
ที่มา: Fugate และคณะ (2010)

2.2.3 การคายน้ำ (transpiration)

การคายน้ำเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งในการเสื่อมคุณภาพของผลิตผลเนื่องจากส่งผลถึงการสูญเสียทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพเช่น ลักษณะที่ปรากฏ (เกิดการเหี่ยว) เนื้อสัมผัสสูญเสีย น้ำหนักตลอดจนคุณค่าทางอาหาร ระบบผิว (dermal system) ของพืชซึ่งได้แก่ คิวติน (cuticle) เซลล์ผิว (epidermal cell) ปากใบ (stomata) เลนติเซล (lenticel) ขน (trichome) และบาดแผล เป็นส่วนสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำของผลิตผล ผักใบสูญเสียน้ำทางปากใบ มันฝรั่งสูญเสียน้ำทางเลนติเซล มะเขือเทศสูญเสียน้ำทางรอยขีดแผล อัตราการคายน้ำขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่ผิว

ต่อปริมาตรด้วยคือถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูง ผลผลิตนั้นสูญเสียได้ง่ายเช่น ผักใบสูญเสียน้ำได้มากกว่าผลไม้ทำให้เกิดลักษณะใบเหี่ยว เงามะสูญเสียได้เร็วเพราะมีพื้นที่ผิวมากสังเกตจากปลายขนกลายเป็นสีดำก่อน แม่ค้าขายเงาะจึงรดน้ำบ่อย ๆ เพื่อเพิ่มความชื้น ลดอุณหภูมิ และลดการสูญเสีย น้ำหนักของเงาะ

2.2.4 การเจริญต่อเนื่อง (growth and development)

การเจริญต่อเนื่องได้แก่ การงอกยอด (sprouting) และการงอราก (rooting) ของมันฝรั่ง หอมหัวใหญ่ และกระเทียมลดคุณภาพของผลผลิตลงทำให้น้ำหนักลด นิ้ม เบา และเร่งการเสื่อมสลายได้เร็วขึ้น การเจริญต่อเนื่องที่ทำให้ยืดยาวและโค้งงอ (elongation and curvation) ที่เกิดกับหน่อไม้ฝรั่งและไม้ดอกกลาดิโอลัส (gladiolus) เมื่อขนส่งในแนวนอนทำให้เกิดการโค้งงอเพื่อหนีแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น การงอกของเมล็ด (seed germination) เกิดในมะเขือเทศ พริก ลำไย และขนุนเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์เช่นกัน

2.2.5 การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (fruit softening)

ผลไม้มีปริมาณเซลลูโลสเกือบคงที่จนกระทั่งผลไม้เริ่มสุกจากนั้นผนังเซลล์เริ่มบางลงและเซลลูโลสเปลี่ยนไปอยู่ในรูปผลึกมากขึ้น เพกทิน (pectin) เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโปรโตเพกทิน (protopectin) ที่ไม่ละลายน้ำกลายเป็นเพกทินและกรดเพกติกที่ละลายน้ำได้โดยการทำงานของเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase ทำให้ผลไม้มีลักษณะนิ่ม ส่วนในผักมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตทำให้ผนังเซลล์มีความหนาแน่นมากขึ้นและเนื้อสัมผัสเป็นเส้นใยมากขึ้น เช่น หน่อไม้ฝรั่ง

2.2.6 ความผิดปกติทางสรีรวิทยา (physiological disorder)

การที่ผลผลิตได้รับอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่เหมาะสมส่งผลให้มีลักษณะที่ผิดปกติทางสรีรวิทยาได้หลายแบบคือ

2.2.6.1 Freezing injury

ผลิตผลเมื่อได้รับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลนั้น อาการแสดงเมื่อนำพืชผลกลับมาสู่อุณหภูมิปกติ ลักษณะที่พบคือมีอาการฉ่ำน้ำ สีไม่สดใส เช่น ผลกีวี เป็นต้น (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 อาการ freezing injuries ในผลกีวี

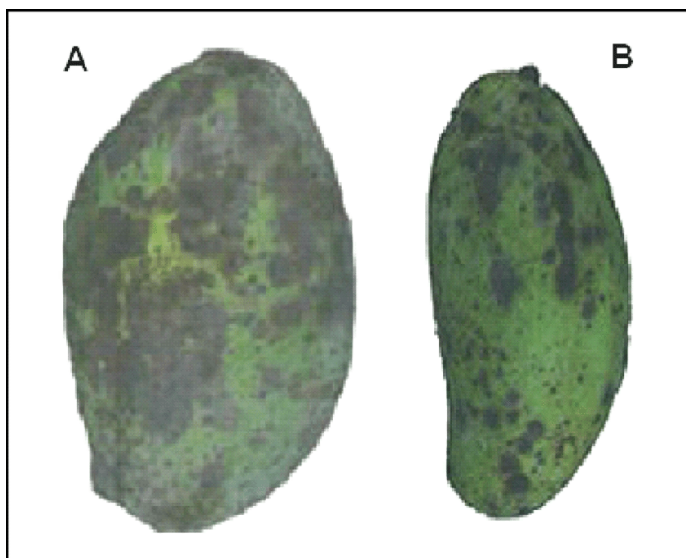
ที่มา: http://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/files/222834.jpg,

Retrieved June 4, 2019

2.2.6.2 Chilling injury

อาการสะท้านหนาว (chilling injury) เกิดขึ้นกับพืชผลเมืองร้อนที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ (แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง) โดยทั่วไปพบการเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 – 15 องศาเซลเซียส แล้วแต่ชนิดของพืชผล อาการที่พบคือสีที่เปลือกนอกและภายในเปลี่ยนแปลง ฉ่ำน้ำ บ่มไม่สุกรสชาติผิดปกติ อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์อาจมีการหายใจและการสร้างก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้นด้วย อาการผิดปกติเหล่านี้แสดงออกเมื่อนำผลผลิตออกจากห้องเย็น และปล่อยให้กลับสู่อุณหภูมิปกติ ตัวอย่างผลิตผลและอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นแก่กล้วยมีสีของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ ในขณะที่เนื้อภายในอาจไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเปลือกขึ้นกับความรุนแรงของอาการ มันฝรั่ง (sweet potato) เกิดเส้นสีน้ำตาลอมส้มบนเนื้อใน อะโวคาโดเกิดเส้นสีเทา สับปะรด

เกิดเนื้อเยื่อสีน้ำตาลเข้มใกล้กับแกนกลาง มะม่วงเกิดเป็นจุดสีน้ำตาลกระจายบนผิวดังภาพที่ 2.5 ส่วนผลกีวีพันธุ์ Hongyang หลังจากเก็บในห้องเย็นนาน 90 วัน และย้ายไปวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ผลกีวีแสดงอาการสะท้อนหนวดดังภาพที่ 2.6 โดยผิวมีสีน้ำตาลและเมื่อปอกเปลือกเนื้อกีวีมีอาการฉ่ำน้ำเมื่อเทียบกับผลกีวีสดไม่มีสีน้ำตาลที่เปลือกและเนื้อไม่ฉ่ำน้ำ



ภาพที่ 2.5 อาการ chilling injury ในผลมะม่วงพันธุ์ Zibdia (A) และ Hindi (B) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วัน
ที่มา: Arafat (2005)



ภาพที่ 2.6 อาการ chilling injury ของผลกีวี่พันธุ์ Hongyang เก็บรักษาในห้องเย็นเป็นเวลา 90 วัน และย้ายไปที่อุณหภูมิในการวางจำหน่ายที่ 20 องศาเซลเซียส ผลกีวี่สด (A) ผลกีวี่ที่แสดงอาการสีน้ำตาลจากการเกิด chilling injury (ลูกศรสีดำ) (C) เนื้อผลกีวี่ปกติ (D) เนื้อผลกีวี่แสดงอาการฉ่ำน้ำ (E) ภาพตัดขวางของเนื้อกีวี่ปกติ (F) ภาพตัดขวางของเนื้อกีวี่ที่มีลักษณะฉ่ำน้ำ (G) ภาพตัดแนวยาวของเนื้อกีวี่ปกติ (H) ภาพตัดแนวยาวของเนื้อกีวี่แสดงอาการฉ่ำน้ำ

ที่มา: Yang และคณะ (2016)

2.2.7 การเน่าเสีย (pathological breakdown)

ความเสียหายที่เด่นชัดและพบเสมอคือการเน่าเสียเนื่องจากแบคทีเรียและเชื้อรา การเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เข้าทางบาดแผลแต่ยังมีเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถเข้าทำลายผลผลิตที่ปกติไม่มีบาดแผลได้เช่นการสุกของผลไม้ทำให้เกิดความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ได้

2.2.8 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

ผักและผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งรงควัตถุ คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ โปรตีน ไขมัน แตนิน และวิตามิน ดังนี้

2.2.8.1 การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ

ในระหว่างการแก่และการสุกเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดมากซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเป็นลักษณะพึงประสงค์หรือลักษณะที่ไม่ต้องการก็ได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้แก่

1) การสูญเสียคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นลักษณะที่ต้องการในผลไม้ เช่น กล้วยหอม แต่เป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ในผักใบและพืชบางชนิดเช่น มะนาว

2) การเกิดแคโรทีนอยด์ (carotenoids) แคโรทีนอยด์ถูกบดบังได้ด้วยสีของคลอโรฟิลล์สำหรับพืชที่มีแคโรทีนอยด์ โดยทั่วไปปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น เช่น แครอท แอปริคอตทำให้เกิดสีเหลืองและสีส้มและยังเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ในท้อ (peach) มะละกอสุกและมะม่วงสุก ส่วนในมะเขือเทศและแตงโมมีการสร้างไลโคพีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแก่จัด

3) การเกิดแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งจัดเป็นสารพวกฟลาโวนอยด์ เป็นการเกิดสีแดงหรือม่วงหรือน้ำเงิน สีของแอนโทไซยานินไม่ถูกบดบังด้วยสีของคลอโรฟิลล์ ดังนั้นการสังเคราะห์แอนโทไซยานินจึงเป็นดัชนีบอกความแก่ของผลไม้บางชนิดได้ เช่น แอปเปิล (พันธุ์ที่เป็นสีแดง) เชอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ และบลูเบอร์รี่

2.2.8.2 การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวได้หลายรูปแบบคือ แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ในผลไม้ เช่น แอปเปิล และกล้วยแต่ไม่ต้องการให้เกิดในมันฝรั่ง ส่วนน้ำตาลเปลี่ยนเป็นแป้งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ในถั่วลิสงและข้าวโพดหวาน

2.2.8.3 การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตของผลไม้เพิ่มขึ้น จากนั้นปริมาณกรดลดลงในระหว่างการแก่สมบูรณ์และการสุกซึ่งในช่วงที่ปริมาณกรดลดลงนี้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นโดยที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลต่อกรดอินทรีย์ (sugar: acid ratio) สามารถนำมาใช้เป็น

ดัชนีบอกความแก่ของผลไม้ไม่ได้มีข้อยกเว้นในผลไม้บางชนิดเช่น กล้วยหอมมีปริมาณกรดสูงสุดเมื่อแก่เต็มที่แต่อย่างไรก็ตามปริมาณกรดอินทรีย์ในผักและผลไม้ขึ้นกับสภาวะในการปลูก พันธุ์ และการให้ปุ๋ยด้วย

2.2.8.4 การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน

โปรตีนต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากภายหลังการเก็บเกี่ยว ผลไม้ในช่วงระยะไคลแมกทริก (climacteric) พบปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นอิสระน้อยลงแสดงว่าในระยะดังกล่าวมีการสร้างโปรตีนในทางกลับกันผลไม้ในระยะเสื่อมสลาย (senescence) มีปริมาณกรดอะมิโนอิสระมากขึ้นแสดงว่ามีการสลายตัวของโปรตีนที่มีอยู่เดิม โปรตีนในผักและผลไม้ถึงแม้มีอยู่ในปริมาณต่ำและไม่มีผลโดยตรงต่อรสชาติของผักและผลไม้แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งทำให้รสชาติของผักและผลไม้เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง เช่น การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลเป็นแป้งในข้าวโพดหวานหลังการเก็บเกี่ยวเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ ADPG-pyrophosphorylase ทำให้ความหวานของข้าวโพดลดลงซึ่งเป็นที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น การชะลอการทำงานของเอนไซม์สามารถทำได้ด้วยการใช้วิธีเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บในสภาพบรรยากาศที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนให้ต่ำ และ/หรือคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงหรือใช้โซเดียมไพรอเฟสเฟต แต่ที่มีการปฏิบัติกันโดยทั่วไปเพื่อรักษาความหวานของข้าวโพดให้นานขึ้นทำได้โดยการตัดฝักให้มีก้านยาวติดมาด้วยเพื่อให้มีสารอาหารจากก้านส่งเข้าสู่เมล็ดข้าวโพดได้นานขึ้น การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลหรือการอ่อนตัวของเนื้อผลไม้เนื่องจากการสลายตัวของผนังเซลล์ล้วนเกิดจากการทำงานของเอนไซม์โดยมียีน (gene) เป็นตัวควบคุมทำให้การทำงานของเอนไซม์เกิดขึ้นอย่างจำเพาะเจาะจง

2.2.8.5 การเปลี่ยนแปลงของไขมัน

ไขมันที่อยู่ในผลิตภัณฑ์พืชสวนอาจแบ่งเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ อาหารสะสม สารปกคลุมผิว และองค์ประกอบของเยื่อเยื่อ (membrane) ภายหลังการเก็บเกี่ยวสารปกคลุมผิวและเยื่อหุ้มต่าง ๆ เสื่อมสภาพลงทำให้ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารเหล่านี้ลดน้อยลงส่งผลให้เซลล์ขาดสมดุลและเสื่อมสลายไปในที่สุด

2.2.8.6 การเปลี่ยนแปลงของสารแทนนิน

แทนนินเป็นสารประกอบฟีนอลชนิดหนึ่งทำให้เกิดรสฝาดในผลไม้ ผลไม้หลายชนิดมีรสฝาดเมื่อยังไม่แก่สมบูรณ์แต่เมื่อผลไม้แก่สมบูรณ์หรือสุกรสฝาดลดลงหรือหายไปเพราะปริมาณ

สารประกอบฟีนอลลดลง นอกจากนั้นรสฝาดอาจลดลงเนื่องจากการรวมตัวของสารประกอบฟีนอลเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จากโมเลกุลเล็ก (unpolimerize tannin) ที่ละลายน้ำได้กลายเป็นโมเลกุลใหญ่ (polimerize tannin) ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเกิดขึ้นเมื่อผลไม้พัฒนาไปจนบรรลุนิยาม

2.2.8.7 การเปลี่ยนแปลงของวิตามิน

วิตามินเอในรูปของแคโรทีน และวิตามินบีไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักภายหลังการเก็บเกี่ยว แคโรทีนอาจมีการสร้างเพิ่มขึ้นได้ในระหว่างการสุกเช่น ในมะเขือเทศ ขณะเดียวกันผักและผลไม้ที่มีการสูญเสียเนื้ออาจส่งผลให้แคโรทีนสูญเสียไปด้วย วิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าวิตามินชนิดอื่นภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยพบว่าผักรับประทานใบและช่อดอกมีการสูญเสียวิตามินมากกว่าผลไม้ การเก็บผลิตผลที่อุณหภูมิสูงทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เช่น กะหล่ำดอกมีการสูญเสียวิตามินซีร้อยละ 10 เมื่อเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส และการสูญเสียเพิ่มเป็นร้อยละ 50 เมื่อเก็บที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์

2.3 วิธีการชะลอการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

2.3.1 ลดอัตราการหายใจของผักและผลไม้ (minimize respiration)

การหายใจของผักและผลไม้ส่งผลให้มีความร้อนเกิดขึ้นซึ่งความร้อนนี้ไปเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพให้เร็วขึ้นดังนั้นวิธีการชะลอหรือลดการหายใจของผักและผลไม้ทำได้ดังนี้

2.3.1.1 การลดอุณหภูมิ

การลดอุณหภูมิเป็นวิธีการลดอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่ได้ผลที่สุดยิ่งลดอุณหภูมิลงอัตราการหายใจก็ยิ่งลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่สามารถใช้ได้กับผลิตผลทุกชนิดเนื่องจากผลิตผลบางอย่างอาจเกิดลักษณะที่ผิดปกติเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (chilling injury)

2.3.1.2 การดัดแปลงหรือควบคุมบรรยากาศในการเก็บรักษา (modifying or controlling the atmosphere)

โดยปรับสภาพให้ปริมาณออกซิเจนลดลงและ/หรือเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของการเก็บรักษาโดยปกติวิธีนี้ทำร่วมกับการลดอุณหภูมิเช่น การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในบรรจุภัณฑ์ที่ห่อหุ้มด้วยขนวนกันความร้อนหนา 2 และ 1 เซนติเมตร ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 35 วัน จึงแสดงอาการสัท้านหนาว อย่างไรก็ตาม

การเก็บรักษามะม่วงในกล่องโฟมนานเกินไปเกิดสีน้ำตาลจากการหมักและมีกลิ่นผิดปกติหลังเก็บรักษา (พิเชษฐ์ และคณะ, 2553)

2.3.1.3 การหลีกเลี่ยงผลิตผลสัมผัสกับเอทิลีน

เนื่องจากผักและผลไม้สามารถผลิตเอทิลีนได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดบาดแผลรอยขีด ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการเก็บเกี่ยว บรรจุ ขนส่งหรือบาดแผลจากโรคและแมลง ดังนั้นการลดปริมาณการผลิตเอทิลีนสามารถทำได้โดยการปฏิบัติกับผลิตผลอย่างระมัดระวัง

2.3.2 ลดการเจริญต่อเนื่อง (minimize growth and development)

การลดอุณหภูมิเป็นวิธีการที่ให้ผลดีในการลดการเจริญของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เช่น หอมหัวใหญ่ควรเก็บรักษาที่ 0 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเกิดการงอกของรากและการเน่าเสีย การควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 65–70 ช่วยลดการงอกยอดหรือรากของหัวหอมได้มากกว่าการเก็บในที่ที่มีความชื้นสูง การฉายรังสีเป็นอีกวิธีที่ยับยั้งการงอกของหอมหัวใหญ่ มันฝรั่งได้ นอกจากนี้การบรรจุผลิตผลบางอย่าง เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ขึ้นฉ่าย (celery) และไม้ดอกแกลดีโอลัส ถ้าบรรจุในแนวนอนทำให้เกิดการโค้งงอหนีแรงโน้มถ่วงของโลกจึงควรบรรจุในแนวตั้งแต่ถ้าหากต้องบรรจุในแนวนอนควรบรรจุในภาชนะที่พอดี เช่น กล่องที่มีฝาปิดเพื่อไม่ให้มีพื้นที่ว่างซึ่งทำให้เกิดการโค้งงอได้

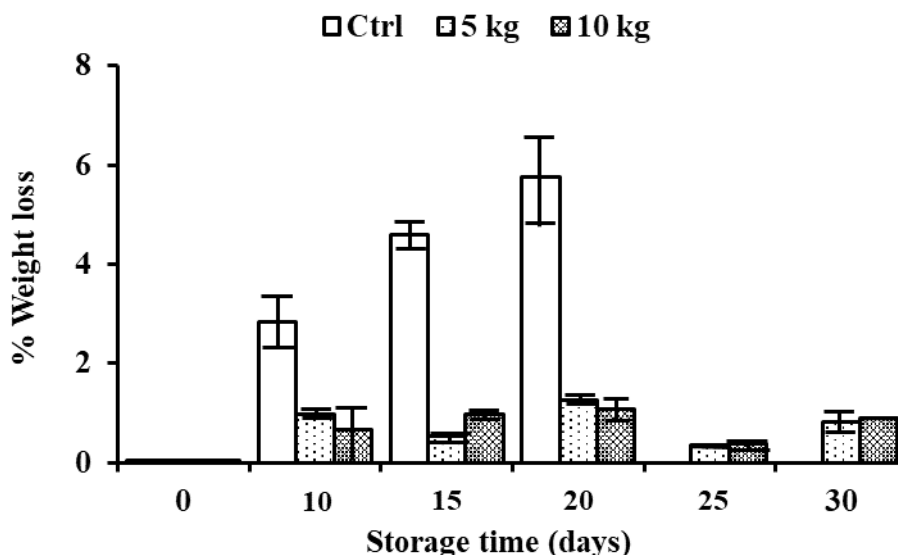
2.3.3 ลดการคายน้ำ (Minimize water loss)

การลดการคายน้ำมีหลายวิธี เช่น การใช้บรรจุภัณฑ์ห่อหุ้ม การเก็บรักษาสีผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาสีผลิตผลในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง และระมัดระวังไม่ให้ผลิตผลเกิดบาดแผลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 การใช้บรรจุภัณฑ์ห่อหุ้ม

การเคลือบผิวผลไม้ หรือใช้ฟิล์มพลาสติกหุ้มผิวของผลิตผล เช่นการบรรจุพริกหวานเขียว 5 กิโลกรัม ในถุงขนาด 20 x 25 นิ้ว และพริกหวานเขียว 10 กิโลกรัมในถุงขนาด 20 x 40 นิ้ว เปรียบเทียบกับพริกหวาน 10 กิโลกรัมในตะกร้าพลาสติกโดยไม่บรรจุพบว่าบรรจุพริกหวานในถุงฟิล์มน้ำหนัก 5 และ 10 กิโลกรัม มีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 1 ตลอดการเก็บ

รักษา ในขณะที่ชุดควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 3.6 ในวันที่ 10 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5.7 ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา (กาญจนา และคณะ, 2553) (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 การสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานเขียวในตะกร้าที่ไม่ได้บรรจุถุง (ชุดควบคุม) และบรรจุ 5 และ 10 กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน
ที่มา: กาญจนา และคณะ (2553)

2.3.3.2 การเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิต่ำลดอัตราการคายน้ำได้แม้บรรยากาศของการเก็บรักษามีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน ก็ตามการสูญเสียของผลิตผลเกิดขึ้นเร็วในระยะแรกของการเก็บรักษา ดังนั้นการลดอุณหภูมิผลิตผลอย่างรวดเร็วจึงมีผลอย่างมากต่อการลดอัตราการสูญเสีย

2.3.3.3 การเก็บรักษาผลิตผลในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในผักและผลไม้เกือบทุกชนิดมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 ดังนั้นถ้าความชื้นของบรรยากาศรอบ ๆ ยิ่งต่ำการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากผลิตผลออกสู่ภายนอกก็ยิ่งเร็วขึ้น ถ้าความชื้นในห้องเก็บรักษาอยู่ในรูปของไอน้ำไม่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ถ้าเก็บรักษา

ผลิตผลในลักษณะขึ้นและเช่นนำผลิตผลเข้าเก็บในห้องเย็นหลังจากการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นโดยไม่ทำให้แห้งก่อนทำให้เกิดการเน่าเสียเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ได้

2.3.3.4 ะมัดระวังไม่ให้ผลิตผลเกิดบาดแผล

ผักและผลไม้ที่สมบูรณ์ไม่มีบาดแผลการคายน้ำย่อมน้อยกว่าผลผลิตที่มีบาดแผลซึ่งบาดแผลหรือรอยขีดทำให้เซลล์ได้รับความเสียหายเป็นช่องทางเปิดให้สารต่างๆ รวมทั้งน้ำในผลิตผลออกมาทางช่องทางนี้ได้เช่นกัน การปฏิบัติอย่างระมัดระวังตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภคไม่ให้เกิดบาดแผลช่วยลดการคายน้ำได้

2.3.4 ลดการเสียหายทางกล (minimize mechanical damage)

การเสียหายทางกลเป็นสาเหตุใหญ่ของการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวและทำให้ผลิตผลเสียราคา การปฏิบัติต่อผลิตผลอย่างระมัดระวังและใช้วิจารณญาณในการปฏิบัติสามารถลดการสูญเสียได้ สาเหตุของการเสียหายทางกลเกิดจากสาเหตุดังนี้

2.3.4.1 ก่อนการเก็บเกี่ยว

สภาพดินฟ้าอากาศ (ลม ฝน และลูกเห็บ) เครื่องมือเครื่องจักรในการให้น้ำ ปุ๋ย และการตัดแต่ง การปฏิบัติก่อนการเก็บเกี่ยวอย่างระมัดระวังช่วยลดความเสียหายทางกลได้

2.3.4.2 ระหว่างการเก็บเกี่ยว

ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวหากใช้คนที่ไม่ชำนาญในการเก็บเกี่ยวอาจส่งผลให้เกิดบาดแผล เช่น การเก็บเกี่ยวลูกพีชด้วยคนทำให้เกิดความเสียหายร้อยละ 7.5 และเมื่อใช้เครื่องจักรเก็บเกี่ยวความเสียหายเพิ่มเป็นร้อยละ 12.5 นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวผลิตผลที่อยู่ใต้ดินทำให้เกิดรอยแผลขึ้นที่ผลิตผล

2.3.4.3 การทิ่มแทงของข้าวผล

ผลไม้หลายชนิดเก็บเกี่ยวโดยมีข้าวติดมาด้วยตามความต้องการของตลาด เช่น แอปเปิล แพร์ เซอร์รี มะเขือเทศ รวมทั้งกล้วย อาจเกิดรอยแผลจากการขีดข่วนของข้าวหิว

2.3.4.4 ภาชนะบรรจุ

การบรรจุที่แน่นเกินไป ทำให้เกิดการเปื้อนอัด แต่การบรรจุที่หลวมเกินไป ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หรือการสั่นสะเทือนของผลิตผลในระหว่างการขนส่ง ความลึกของภาชนะบรรจุที่เหมาะสมทำให้ผลิตผลซ้อนทับกันโดยไม่เกิดการกดทับรวมถึงความแข็งแรงต่อการซ้อนทับของ

ภาชนะบรรจุล้วนมีผลต่อความเสียหายทางกล การใช้ถาดกระดาษหรือการกั้นส่วนช่วยลดการเสียหายทางกลได้

2.3.4.5 สภาพถนนและการขนส่ง

สภาพถนนที่ไม่ดีรวมทั้งการใช้ความเร็วสูงในการขนส่งล้วนเป็นสาเหตุของการเสียหายจากการกระทบกระเทือนกันได้

2.3.4.6 คนงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง

การขนย้ายอาจมีการโยนตกกระทบบางข้อที่บั่นทอนโดยคนงานที่ไม่ตระหนักถึงเรื่องคุณภาพซึ่งเป็นสิ่งที่จัดการได้ค่อนข้างยาก การอบรมให้ความรู้หรือการออกกฎระเบียบอาจพอแก้ปัญหาได้

2.3.5 หลีกเลี่ยงการเกิดอาการของผักและผลไม้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา (Avoid temperature injury)

ผลิตผลแต่ละชนิดสามารถทนต่อช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกันจึงจำเป็นต้องทราบช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตผลแต่ละชนิด ความเสียหายจากอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

2.3.5.1 ความเสียหายจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป

ความเสียหายจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป เช่น การโดนแดดเผา (sunburn) เนื่องจากการปล่อยทิ้งไว้กลางแดดในแปลงหลังเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงควรย้ายผลิตผลเข้าที่ร่มทันทีหลังเก็บเกี่ยวซึ่งอาจเป็นโรงเรือน ใต้ร่มไม้หรือหาวาสตฺ เช่น ใบไม้มาปิดบังแสงแดดให้กับผลิตผล ความเสียหายจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป เช่น มะม่วงบริเวณใกล้เมล็ดมีลักษณะสีน้ำตาล เนื้อใส ส่วนสับปะรดพบอาการเนื้อฉ่ำน้ำ (water-soaked) และใสเป็นแก้ว (glassy) อาจมีน้ำเยิ้มออกมา ในกล้วยมีลักษณะนิ่มเป็นสีน้ำตาลและน้ำเยิ้ม ส่วนในมะเขือเทศเกิดรอยที่ใสเป็นแก้วและอ่อนนิ่มมากลักษณะเช่นนี้เกิดจากเยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียความสามารถในการห่อหุ้มสารภายในไว้ได้ทำให้สารต่าง ๆ ในแวคิวโอลรั่วออกมาในไซโตพลาสและออกมาสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ทำให้เกิดลักษณะฉ่ำน้ำหรือน้ำเยิ้มและเนื้อเยื่ออ่อนนิ่ม ความเสียหายจากอุณหภูมิสูงอาจเกิดในท้องเย็นที่อัดแน่นทำให้การหมุนเวียนของอากาศเกิดขึ้นไม่ดีโดยเฉพาะบริเวณใจกลางอีกทั้งเกิดการสะสมของความร้อนจากการหายใจทำให้เกิดความร้อนสูงได้เช่นกัน

2.3.5.2 ความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำ

ความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำ ได้แก่ freezing injury และ chilling injury จึงจำเป็นต้องทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาและอุณหภูมิต่ำสุดที่ผลผลิตนั้นสามารถเก็บรักษาได้โดยไม่เกิดลักษณะที่ผิดปกติ เช่น กลัวย ไม่สามารถเก็บในอุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส

2.3.6 หลีกเลี่ยงความเสียหายของผักและผลไม้เนื่องจากบรรยากาศที่ใช้เก็บรักษา (avoid gas injury)

โดยทั่วไปในบรรยากาศมีปริมาณออกซิเจนประมาณร้อยละ 21 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 เมื่อมีการเก็บรักษาสีผลิตโดยการห่อหุ้มหรือเก็บในห้องที่มีอากาศถ่ายเทไม่ดีเกิดการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศเนื่องจากการหายใจของพืชทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และมีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น บรรยากาศแบบนี้อาจทำให้เกิดผลดีต่อผลผลิตได้เพราะทำให้อัตราการหายใจของพืชลดลงจึงช่วยชะลอการเสื่อมเสียได้ซึ่งเป็นหลักของการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศและดัดแปลงบรรยากาศ (controlled and modified atmosphere) แต่ถ้ามีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อพืชก็ทำให้เกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ได้ ตัวอย่างเช่นการเกิดสีดำที่ใจกลาง (black heart) ของมันฝรั่ง (ภาพที่ 2.8) เนื่องจากในบรรยากาศมีปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไปและการเกิดรอยสีน้ำตาลในผักกาดหอม (lettuce) เนื่องจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไป



ภาพที่ 2.8 การเกิดสีดำที่ใจกลาง (black heart) ของมันฝรั่ง
ที่มา: Zhou และคณะ (2015)

2.3.7 หลีกเลี่ยงการทำลายโดยแมลง (avoid insect damage)

ปัญหาเรื่องแมลงเกิดขึ้นตั้งแต่ในแปลงปลูก ดังนั้นการควบคุมแมลงในแปลงหรือสวนจึงมีความจำเป็นมากเพื่อให้ผลผลิตปลอดจากแมลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งไข่และตัวอ่อนของแมลงซึ่งพัฒนาขึ้นมาในระหว่างการจำหน่าย การใช้อุณหภูมิต่ำและการควบคุมบรรยากาศในการเก็บรักษาเป็นการลดอัตราการเจริญของแมลงในระหว่างการเก็บรักษาได้วิธีหนึ่ง

2.3.8 ลดการเกิดโรคของผักและผลไม้ (minimize disease damage)

การเกิดโรคอาจเกิดขึ้นในแปลงหรือหลังการเก็บเกี่ยวก็ได้ ผลผลิตอาจได้รับเชื้อจุลินทรีย์ตั้งแต่ใน ระยะแรกในแปลงปลูกแต่แสดงอาการของโรคหลังการเก็บเกี่ยวหรือเมื่อผลผลิตอ่อนแอ (เริ่มสุก) โรคแอนแทรคโนส (anthracnose) ในมะม่วงและอะโวคาโด โรคที่เกิดหลังการเก็บเกี่ยวอาจเกิดจากการติดเชื้อบริเวณบาดแผลจากการเก็บเกี่ยวหรือบาดแผลอื่น นอกจากการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันกำจัดแล้วการปฏิบัติที่ดีและระมัดระวังหลังการเก็บเกี่ยวก็เป็นวิธีการลดการเข้าทำลายของโรคได้เพราะเป็นการลดบาดแผล รอยขีดข่วน และรอยชำ การแยกผลผลิตที่เน่าเสียออกทันทีทำให้ไม่เกิดการแพร่กระจายของเชื้อ การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำทำให้ลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ การห่อผลด้วยกระดาษหรือถุงพลาสติกทำให้ผลที่ติดเชื้อไม่แพร่กระจายเชื้อไปสู่ผลอื่นนอกจากนั้น การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวในโรงเรือนอย่างถูกสุขลักษณะ (good hygiene) ช่วยลดการติดเชื้อได้เป็นอย่างดี

2.3.9 ลดระยะเวลาในการเก็บรักษา (minimize time)

วิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการชะลอการเน่าเสียแต่ไม่สามารถหยุดยั้งการเน่าเสียของผลผลิตได้ การลดระยะเวลาดังแต่เก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภคให้สั้นที่สุดทำให้ผู้บริโภคได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีโดยมีปัจจัยจากสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของผลผลิตดังนี้

2.3.9.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว การเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิพอเหมาะทำให้อัตราการเสื่อมคุณภาพเพิ่มขึ้นถึง 2 – 3 เท่า และการลดอุณหภูมิลงจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 13 องศาเซลเซียสยังช่วยลดการหลุดร่วงในข้อผลลองกองได้โดยอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ในบริเวณหลุดร่วง

ได้แก่ เอนไซม์ pectinesterase, polygalacturonidase, cellulase และ peroxidase น้อยกว่า การเก็บรักษาผลองกองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อินทรา, 2554)

2.3.9.2 ความชื้นสัมพัทธ์

อัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผลขึ้นกับความแตกต่างของความดันไอระหว่างผลิตผล และอากาศแต่ทั้งนี้อุณหภูมิยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของอากาศด้วยโดยเฉพาะที่อุณหภูมิหนึ่ง อัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผลขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ดังนั้นอัตราการสูญเสียน้ำจึงเพิ่มขึ้น

2.3.9.3 สภาพบรรยากาศ

การลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมช่วยชะลอการเสื่อมสลายของผลิตผลได้โดยเฉพาะแอปเปิลสายพันธุ์ Bravo de Esmolfe ซึ่งเป็นพันธุ์ดั้งเดิมของประเทศโปรตุเกสเมื่อเก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลงในห้องเย็นมีการสูญเสียน้ำหนักน้อย สีและความแน่นเนื้อดีกว่าผลแอปเปิลที่เก็บในอากาศปกติ (Rocha และคณะ, 2004)

2.3.9.4 เอทิลีน

ผลของเอทิลีนมีทั้งผลที่น่าพึงพอใจเช่นทำให้ผลไม้สุกอย่างสม่ำเสมอแต่เอทิลีนก็เป็น ตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายได้โดยเฉพาะในผักใบและดอกไม้ เอทิลีนมีผลต่อการหายใจโดยในผลไม้ที่มีช่วงไคลแมกทริก (climacteric fruit) เร่งให้เกิดไคลแมกทริกเร็วขึ้นแต่ไม่ทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้น สำหรับผักและผลไม้ที่ไม่มีช่วงไคลแมกทริกเอทิลีนทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อการสุก เอทิลีนนอกจากมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสุกแล้วยังมีผลอื่น ๆ อีกเช่นในมะเดื่อ (Fig) เอทิลีนมีผลต่อการเจริญเติบโตของผลไม้ เอทิลีนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีโดยทำลายคลอโรฟิลล์ด้วยการเปลี่ยนสีเปลือกของส้มให้เป็นสีเหลือง (de-greening) เพื่อให้ตลาดต่างประเทศยอมรับทำได้โดยการใช้ก๊าซเอทิลีนแต่ต้องใช้เอทิลีนในปริมาณมาก

2.3.9.5 แสง

การได้รับแสงของผลิตผลบางชนิด เช่น มันฝรั่งเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงเพราะก่อให้เกิด สีเขียวขึ้นที่ผิวอันเนื่องมาจากการเกิดคลอโรฟิลล์และโซลานีน (solanine) ซึ่งเป็นพิษต่อมนุษย์ดัง ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะมันฝรั่งปกติ (A) และสีเขียวของมันฝรั่งที่เกิดโซลานีน (B)



(A)

(B)

ภาพที่ 2.9 มันฝรั่ง (A) และมันฝรั่งที่เกิดโซลานีน (solanine) (B)

ที่มา: Karlsson และคณะ (2013)

2.4 คุณภาพและมาตรฐานของผักและผลไม้

คุณภาพหมายถึงลักษณะประจำของบุคคลหรือสิ่งของผลไม้ที่มีคุณภาพดีหรือมีลักษณะที่ดี ย่อมขายได้ราคาสูงกว่าผลไม้ที่มีคุณภาพต่ำคุณภาพเหล่านี้ขึ้นกับเกษตรกรผู้ผลิต ผู้ประกอบการขนส่ง พ่อค้าส่ง พ่อค้าปลีก และผู้บริโภค

2.4.1 องค์ประกอบของคุณภาพ

องค์ประกอบของคุณภาพแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

2.4.1.1 ลักษณะภายนอก (external characteristic หรือ appearance)

ลักษณะที่มองเห็นด้วยตา สัมผัสได้ด้วยมือ

2.4.1.2 ลักษณะภายใน (internal characteristic)

ลักษณะที่สัมผัสได้จากการบริโภคด้วยปาก ลิ้น และจมูก เช่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร รวมทั้งความหนาของเนื้อ ปริมาณเนื้อ และขนาดของเมล็ด

2.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ แบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

2.4.2.1 แบบจิตวิสัย (subjective)

การประเมินคุณภาพด้วยตา มือสัมผัส หรือการชิม ข้อเสียมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ง่ายเนื่องจากความชอบที่ไม่เหมือนกันต้องอาศัยความชำนาญหรือประสบการณ์ของแต่ละคน

2.4.2.2 แบบวัตถุวิสัย (objective)

โดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขได้โดยใช้เครื่องมือเข้าช่วย ข้อดีคือมีความเที่ยงตรงผิดพลาดน้อยแต่ทั้งนี้ก็ยังมิข้อเสียคือสิ่งที่วัดได้อาจไม่ตรงกับการตัดสินคุณภาพของผู้บริโภค

2.4.3 องค์ประกอบการวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพสามารถแบ่งเป็นลักษณะภายนอกและลักษณะภายในได้ดังนี้

2.4.3.1 ลักษณะภายนอก

1) รูปร่าง (shape, dimension) รูปร่างหรือรูปทรงตรงตามพันธุ์ มีความสวยงาม เช่น ผลส้มมีลักษณะทรงกลม แตงโมมีทั้งทรงกลมและทรงสี่เหลี่ยมเพื่อสะดวกในการขนส่ง มะพร้าวมีลักษณะค่อนข้างกลมก้นแหลมตั้งไม่ได้แต่สามารถปอกเปลือกให้ฐานเรียบ ด้านบนมีรูปทรงกรวยคว่ำและทุเรียนลักษณะมีพูเต็มครบทุกพูจัดเรียงสะดวกกว่าพูไม่เต็มและบิดเบี้ยว

2) ขนาด (size) มีทั้งขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กขึ้นกับความต้องการของผู้บริโภค เช่น กะหล่ำปลีหัวใหญ่เหมาะสมที่ใช้ในภัตตาคารหรือร้านอาหารที่ต้องการเตรียมในปริมาณมาก ๆ ส่วนหัวเล็กเหมาะสมที่ใช้ในครัวเรือนขนาดเล็กหรือชาวบ้านทั่วไป

3) สี (color) ควรเป็นสีตามธรรมชาติของผลิตผลนั้น ๆ เช่น มะม่วงดิบมีสีเขียว มะม่วงสุกสีเหลืองโดยอาจมีการใช้แผ่นสีมาตรฐาน เช่น แผ่นสีมาตรฐานของ The Royal Horticultural Society, London หรือวัดสีโดยตรงด้วยเครื่องมือวัดสีหรือการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์

4) ความเป็นมันเงา (gloss) ผลไม้มีชั้นของ cuticle ปกคลุมอยู่ภายนอกและชั้นนอกสุดของ cuticle ประกอบด้วยไข (wax) เห็นเป็นนวลบนผิวผลไม้ เช่น มะม่วง องุ่น และฟัก สำหรับไขนี้ถ้าขัดทำให้ผิวเป็นมันเงา มะม่วงนิยมให้มีไขอยู่ปกป้องความสดถึงการเก็บเกี่ยวมาใหม่ซึ่งขายได้ราคาดีกว่าไม่มีไข

5) ตำหนิ (defect) ได้แก่ รอยบาดแผล รวมทั้งแผลเป็นที่เกิดจากการเสียดสีแรงกระทบและเกิดจากการเข้าทำลายของแมลงหรือจากสารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งเชื้อรา แมลง และมูลของสัตว์ ผลที่มีตำหนิอาจนำมาแปรรูปพร้อมบริโภค เช่น ทุเรียนหรือฝรั่ง ส่วนผลไม้มีคุณภาพดีกว่าผลปกติ เช่น มังคุดผิวลายเกิดจากการเข้าทำลายของเพลี้ยไฟตั้งแต่ดอกบานทำให้มังคุดมีลายขรุขระ สีนํ้าตาลบริเวณผิวบ่งบอกว่ามีรสหวาน ปริมาณน้ำตาลและกรดสูงกว่าผลปกติ

6) ความสม่ำเสมอ ผลผลิตที่ผลิตได้จากแหล่งปลูกหนึ่งๆ มีทั้งที่มีคุณภาพดีและไม่ดีปะปนกัน การคัดเลือกผลิตผลที่ดีไปอยู่ด้วยกันเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตผลผู้บริโภคหรือลูกค้ามีความมั่นใจในคุณภาพผลิตผลนั้นมากขึ้น

2.4.3.2 ลักษณะภายใน

1) เนื้อสัมผัส (texture) เนื้อสัมผัสแต่ละผลิตผลแตกต่างกันไป เช่น ผลแตงกวาอ่อนมีเนื้อสัมผัสกรอบและเมื่อเสื่อมสภาพเนื้อสัมผัสมีลักษณะเหนียว ผลลองกองที่แก่มีเนื้อแห้งและต่อมาเปลี่ยนเนื้อสัมผัสเป็นฉะ เป็นต้น ลักษณะที่ดีขึ้นอยู่กับความนิยมของผู้บริโภค เช่น คนไทยชอบฝรั่งดิบเนื้อกรอบมีกลิ่นน้อย คนต่างชาติชอบทานฝรั่งสุกเนื้อนิ่มและมีกลิ่นหอม การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสอาจทำได้ดังนี้

(1) การวัดการเสียรูปทรง หรือ deformation test หลักการคือออกแรงกดให้ผลิตผลยุบตัวลงโดยอาจออกแรงกดด้วยแรงคงที่แล้ววัดระยะทางที่ผลิตผลยุบตัวลงหรือออกแรงกดให้ผลิตผลยุบตัวลงในระยะทางคงที่แล้ววัดว่าต้องใช้แรงกดเท่าไร

(2) ใช้เครื่องมือ penetrometer หรือ firmness tester (ภาพที่ 2.10) หลักการคือเป็นการวัดลักษณะความแข็งหรืออ่อนนุ่มของเนื้อผลิตผลโดยตรง เช่นเดียวกับการกัดและเคี้ยวบดด้วยปากและฟันของผู้บริโภคโดยใช้เครื่องมือที่มีหัวลักษณะต่าง ๆ กดลงบนผลิตผลจนทะลุเข้าไปในเนื้อแล้วอ่านค่าแรงที่ใช้จนกดทะลุ



ภาพที่ 2.10 เครื่อง firmness tester

ที่มา: Abdelkhalik (2009)

(3) การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยเป็นการวัดเนื้อสัมผัสในผักที่มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวมานานขึ้นจึงวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยเนื่องจากเส้นใยเป็นต้นเหตุสำคัญของความเหนียวของผักหลายชนิด เช่น ถั่วฝักยาวและหน่อไม้ฝรั่ง

(4) การวัดปริมาณน้ำที่คั้นได้ การอ่อนนุ่มของผลไม้เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวหรืออ่อนตัวของผนังเซลล์ นอกจากนั้นยังเกิดจากการที่แป้งซึ่งสะสมไว้ในผลเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลและเกิดจากการสูญเสียน้ำออกไปจากผลผลิตผล ในผลไม้ประเภทส้มผลที่บริบูรณ์แล้วมีเนื้ออ่อนนุ่มและมีน้ำในเนื้อมากกว่าผลที่ยังอ่อนอยู่ การวัดน้ำคั้นจึงเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวได้

2) รสชาติ (taste) ประกอบด้วยทั้งรส (flavor) และ กลิ่น (aroma) การวิเคราะห์คุณภาพของผลผลิตผลแต่ละอย่างจึงแตกต่างกัน และใช้การชิมเป็นครั้งสุดท้ายในการตัดสินใจ รสของผลไม้พื้นฐานที่มีในผลไม้ส่วนใหญ่ได้แก่ ความหวาน ความเปรี้ยว ความขม และความฝาด

(1) ความหวาน (sweetness) เกิดจากน้ำตาลในผลผลิตผลซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ น้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคสซึ่งให้ความหวานแตกต่างกันเนื่องจากน้ำตาลเหล่านี้ละลายน้ำได้ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการหักเหของแสงเมื่อส่องผ่านน้ำทำให้สามารถวัดปริมาณน้ำตาลได้

เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณน้ำตาลใช้เครื่อง refractometer (ภาพที่ 2.11) ซึ่งวัดความสัมพันธ์ระหว่างการหักเหของแสงผ่านสารละลายกับความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำคั้นของผลไม้ โดยกรดอินทรีย์ในผลไม้มีผลต่อการหักเหของแสงเหมือนกัน ค่าที่ได้จึงไม่ใช่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดแต่เป็นอย่างอื่นด้วย ค่าที่ได้จึงเป็นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solids content)



ภาพที่ 2.11 เครื่อง Refractometer

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

(2) ความเปรี้ยว (sourness) ความเปรี้ยวในผลไม้เกิดจากกรดอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในแวคิวโอลของเซลล์พืช พืชแต่ละชนิดมีกรดอินทรีย์แตกต่างกัน การตรวจวัดทำได้ด้วยวิธีเดียวกันคือการไทเทรตน้ำคั้นด้วยตัวมาตรฐานแล้วคำนวณเป็นปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titrable หรือ titratable acidity) การวัดความเป็นกรด-ด่างไม่สามารถบอกคุณภาพในด้านรสชาติความ

เปรี้ยวได้ดีดังตารางที่ 2.2 ในน้ำสับปะรด น้ำส้ม และน้ำองุ่นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากันคือ 3.5 แต่มีความเปรี้ยวแตกต่างกันซึ่งน้ำองุ่นมีปริมาณกรดซิตริกและกรดอินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าน้ำสับปะรด และน้ำส้ม ส่วนน้ำมะนาวมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยมีปริมาณกรดซิตริกและกรดอินทรีย์ทั้งหมดมากที่สุด

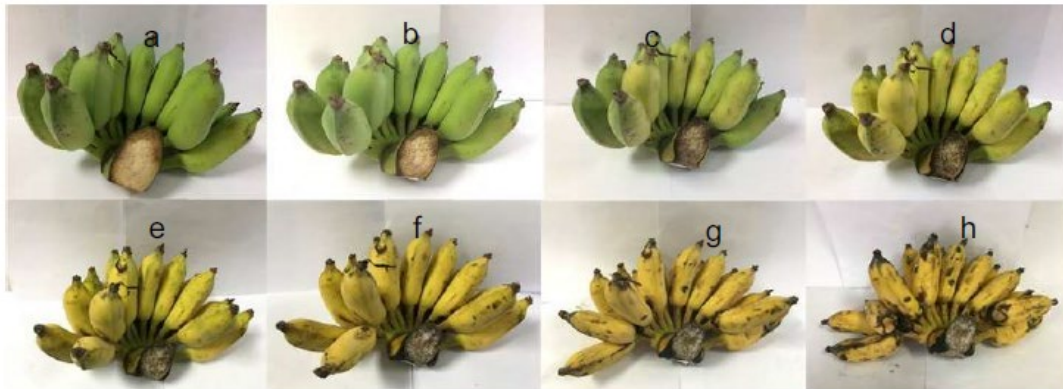
ตารางที่ 2.2 ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และกรดอินทรีย์ทั้งหมดของน้ำผลไม้

น้ำผลไม้	ความเป็นกรด-ด่าง	กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	กรดซิตริก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	กรดอินทรีย์ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัม)
น้ำสับปะรด	3.5	11.7 ± 1.5	218 ± 4.0	246 ± 6.3
น้ำส้ม	3.5	55.3 ± 1.5	452 ± 31	497 ± 5.2
น้ำองุ่น	3.5	45.4 ± 1.2	1312 ± 18	1382 ± 39.4
น้ำมะนาว	1.4	29.4 ± 1.4	4124 ± 78	4187 ± 35.1

หมายเหตุ กรดอินทรีย์ทั้งหมดแสดงค่าเป็นกรดซิตริกใน 100 กรัมของน้ำผลไม้

ที่มา: Falade และคณะ (2003)

(3) ความฝาด (astringency) ความฝาดเกิดจากสารประกอบฟีนอล (phenol) ผลไม้ที่ยังไม่บริบูรณ์มีสารประกอบฟีนอลมากและลดลงเมื่อผลพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์และชราภาพ การตรวจสอบความฝาดด้วยการชิมหรือการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลหรือการใช้น้ำยา ferric chloride (FeCl_3) เข้มข้นร้อยละ 1 หยดบนผิวของผลิตผล ถ้าบริเวณนั้นมีสารประกอบฟีนอลมากทำปฏิกิริยาได้สีเข้มมาก ถ้าไม่มีสารประกอบฟีนอลเลยสีของสารละลายมีสีเหลือง ในผลกล้วยน้ำว้าแบ่งระยะการสุกได้ดังภาพที่ 2.12 ซึ่งระยะที่ 1 (a) มีสีเขียวเข้มเมื่อเข้าสู่ระยะที่ 6 (f) มีสีเหลืองซึ่งเป็นลักษณะการสุกเต็มที่และระยะที่ 8 (h) กล้วยมีลักษณะสีเหลืองและมีจุดดำ ในระหว่างการสุกกล้วยเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของแทนนินทำให้ความฝาดของกล้วยลดลงโดยผลกล้วยมีปริมาณแทนนินมากที่สุดในระยะที่ 4 เท่ากับ 72.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งและต่ำสุดในระยะที่ 8 เท่ากับ 41.38 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 2.3)



ภาพที่ 2.12 การแบ่งระยะสุกตามการเปลี่ยนสีเปลือก โดยระยะที่ 1 (สีเขียวเข้ม; a) ระยะที่ 2 (สีเขียวสว่าง; b) ระยะที่ 3 (สีเขียวปนเหลืองเล็กน้อย; c) ระยะที่ 4 (สีเขียวมากกว่าสีเหลือง; d) ระยะที่ 5 (สีเหลืองมากกว่าสีเขียว; e) ระยะที่ 6 (สีเหลือง; f) ระยะที่ 7 (สีเหลืองมีจุดดำที่ผิวเล็กน้อย; g) และระยะที่ 8 (สีเหลืองและมีจุดดำที่ผิว; h)

ที่มา: พรณพนัช และคณะ (2562)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารสกัดแทนนินของเปลือกกล้วยน้ำว้าในระยะที่ต่างกัน

ระยะการสุกของกล้วยน้ำว้า	ปริมาณแทนนิน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)
1	57.94±2.93 ^c
2	53.72±1.06 ^{cd}
3	52.37±0.99 ^d
4	72.70±1.89 ^a
5	64.64±6.45 ^b
6	58.57±2.01 ^c
7	43.17±3.46 ^e
8	41.38±4.25 ^e

หมายเหตุ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ^{a-e} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ที่มา: พรณพนัช และคณะ (2562)

(4) ความขม (bitterness) โดยทั่วไปความขมเป็นลักษณะผลิตผลที่มีคุณภาพต่ำแต่ผู้บริโภคบางคนก็นิยมรสขม ความขมเกิดจากสารเคมีต่างชนิดกันในต่างพืช เช่น ในพวกส้มเกิดจากสารประเภท limonoid ในเปลือกและมีบ้างในเนื้อ การปอกเปลือกจึงต้องระวังมิให้สารพวกนี้ปนเปื้อนไปกับเนื้อเพราะทำให้เนื้อมีรสขม

(5) กลิ่น (aroma) โดยมากเป็นสารระเหย (volatile) อินทรีย์ที่ผลิตผลสร้างขึ้นโดยเฉพาะในผลไม้เมื่อสุก ผลิตผลที่มีคุณภาพดีควรมีกลิ่นตรงตามพันธุ์และเป็นกลิ่นที่น่าชื่นใจขึ้นกับรสนิยมของผู้บริโภค เช่น กลิ่นของทุเรียน บางคนชอบกลิ่น บางคนไม่ชอบ เป็นต้น

3) คุณค่าทางอาหาร (nutrition) เป็นคุณภาพที่ผู้ผลิตและผู้บริโภคมองข้ามไปเนื่องจากสัมผัสได้ยาก ในประเทศที่พัฒนาแล้วผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคอาหารรวมทั้งผลไม้ที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง

4) ความปลอดภัยในการบริโภค (safety) ความตื่นตัวถึงสารพิษตกค้างในผลิตผลทางการเกษตรมีมากขึ้น ปัจจุบันผู้บริโภคหันไปซื้อผักปลอดสารพิษไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น ผักที่ปลูกในมุ้งหรือในโรงเรือน ในผลิตผลที่ปลอดสารพิษจึงเป็นผลิตผลที่มีคุณภาพดีกว่าผลิตผลที่ผลิตตามวิธีปกติ การใช้สารเคมีต้องไม่ให้มีสารตกค้างเกิดปริมาณที่กฎหมายหรือลูกค้ากำหนด

5) ความสม่ำเสมอ (uniformity) คุณภาพภายในของผักและผลไม้ต้องมีความสม่ำเสมอ การคัดเลือกผักและผลไม้ให้มีความสม่ำเสมอตามลักษณะภายในทำได้ยากกว่าการคัดเลือกจากลักษณะภายนอก

2.5 บทสรุป

ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตแต่ถูกตัดการลำเลียงสารอาหารต่างๆ จากต้น มีการสูญเสียน้ำและการเน่าเสียนอกจากนี้ยังมีการหายใจทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน มีการผลิตเอทิลีนซึ่งบทบาทของเอทิลีนมีผลต่อผักและผลไม้ ผลไม้ที่มีการหายใจสูงในช่วงการสุกส่งผลต่อการผลิตเอทิลีน การคายน้ำ การเจริญต่อเนือง การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ และความผิดปกติทางสรีรวิทยา เช่น อาการสะท้านหนาว รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดนี้ส่งผลให้ผักและผลไม้เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว วิธีการชะลอการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวทำได้ด้วยการลดอัตราการหายใจ เช่น การลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาผักและผลไม้ การตัดแปลงหรือควบคุมบรรยากาศ การหลีกเลี่ยงผลิตผลสัมผัสกับเอทิลีน ลดการคายน้ำเช่นการใช้บรรจุภัณฑ์ห่อหุ้ม

ผลผลิต การลดความเสียหายทางกล และการหลีกเลี่ยงการเก็บรักษาผลผลิตที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งจากลักษณะภายนอก เช่น รูปร่าง ขนาด สี ความเป็นมันเงา ตำหนิ และความสม่ำเสมอของผลผลิต ในการวิเคราะห์คุณภาพจากลักษณะภายใน เช่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณค่าทางอาหาร เป็นต้น

แบบฝึกหัด

1. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้
2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของผักและผลไม้มีความสำคัญอย่างไร
3. วิธีลดการคายนํ้าของผักและผลไม้ทำได้อย่างไร
4. การวิเคราะห์คุณภาพแบบจิตวิสัย และวัตถุวิสัยต่างกันอย่างไร
5. ถ้าต้องการวัดความหวานของผลิตผลสามารถวัดด้วยวิธีใดได้บ้าง

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา บุญเรือง, นกตล เกิดดอนแฝก, วาณี ชนเห็นชอบ, วรณิ ฉินศิริกุล, และณัฐวดี ทองจันทร์. (2553). การยืดอายุการเก็บรักษาพริกหวานเขียวภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่ยอมให้แก๊สซึมผ่านได้สูง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 41(1)(พิเศษ), 167–170.
- พรรณพนัช แชม, วรินธร พูลศรี, อินทิรา ลิจันทรพร, และนภาพร ลาภส่งผล. (2562). ผลของระยะการสุกและสภาวะการสกัดต่อปริมาณสารแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า. ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี พ.ศ. 2562* (หน้า 689–695). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พิเชษฐ์ น้อยมณี, วรณวรงค์ พัฒนะโพธิ์, และวิชา สะอาดสุด. (2553). อิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมวงน้ำดอกไม้สีทอง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 41(1)(พิเศษ), 251–254.
- อินทิรา ลิจันทรพร. (2554). ผลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมเอนไซม์ในบริเวณหลอดรวงของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(3)(พิเศษ), 307–310.
- Abdelkhalik, A.G.A. (2009). *Effects of salinity of irrigation water on growth, fruit yield and fruit quality of two tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivars grown in hydroponic system* [Master thesis, Univerisidad Politecnica De Valencia]. <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/1/59/pdf>
- Arafat, L.A. (2005). *Chilling injury in mangoes*. [Doctoral dissertation, Wageningen University]. <http://edepot.wur.nl/121710>
- Arc, E., Sechet, J., Corbineau, F., Rajjou, L., & Marion-Poll, A. (2013). ABC crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination. *Frontiers in Plant Science*, 4, 1–19.
- Falade, O.S., Sowunmi, O.R., Oladipo, A., Tubosun, A., & Adewusi, S.R.A. (2003). The level of organic acids in some Nigerian fruits and their effect on mineral availability in composite diets. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2(2), 82–88.

-
- Fugate, K.K., Suttle, J.C., & Campbell, L.G. (2010). Ethylene production and ethylene effects on respiration rate of postharvest sugarbeet roots. *Postharvest Biology and Technology*, 56, 71–76.
- Karlsson, M.F., Birgersson, G., Witzgall, P., Lekfeldt, J.D.S., Punyasiri, P.A.N., & Bengtsson, M. (2013). Guatemalan potato moth *Tecia solanivora* distinguish odour profiles from qualitatively different potatoes *Solanum tuberosum* L. *Phytochemistry*, 85, 72–81.
- Rocha, A.M.C.N., Barreiro, M.G., & Morais, A.M.M.B. (2004). Modified atmosphere package for apple ‘Bravo de Esmolfe’. *Food Control*, 15, 61–64.
- Saltveit, M.E. (2004). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Agriculture Handbook 66. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/respiratoryMetab.pdf>.
- Yang, Q., Wang, F., & Rao, J. (2016). Effect of putrescine treatment on chilling injury, fatty acid composition and antioxidant system in kiwifruit. *PloS One*, 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162159>
- Zhou, Z., Zeng, S., Li, X., & Zheng, J. (2015). Nondestructive detection of blackheart in potato by visible/near infrared transmittance spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/786709>

บทที่ 3 การเตรียมผักและผลไม้เบื้องต้นก่อนการแปรรูป

ผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาแล้วต้องมีการเตรียมการที่เหมาะสมเพื่อลดความร้อนจากแปลงปลูก เช่น การเก็บรักษาในห้องเย็น การจุ่มน้ำเย็นหรือแช่ในน้ำแข็งหลังจากนั้นจึงนำมาแปรรูปโดยการเตรียมผักและผลไม้เบื้องต้นโดยเริ่มจากการคัดเลือก การทำความสะอาด การปกปิดเลือก การลวก และการตัดแต่งวัตถุดิบให้ได้ขนาดที่ต้องการเพื่อนำไปสู่การถนอมอาหารในขั้นต่อไป เช่น การนำไปแปรรูปด้วยความเย็นทั้งการแช่เย็นและแช่แข็ง การผลิตผักและผลไม้กระป๋อง การผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้ หรือการนำไปผลิตเป็นผักและผลไม้ดอง เป็นต้น

3.1 การรับวัตถุดิบ

การเก็บเกี่ยววัตถุดิบในแปลงต้องระมัดระวังเพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ เช่น การเก็บเกี่ยวกะหล่ำปลีโดยใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยวจากแปลงปลูกดังภาพที่ 3.1 การเก็บเกี่ยวกะหล่ำปลีด้วยคนและตัดแต่งใบก่อนบรรจุในกล่อง กะหล่ำปลีเมื่อได้รับความเสียหายอาจเป็นช่องทางการคายน้ำเนื่องจากขนาดของใบที่มีพื้นที่คายน้ำจำนวนมากส่งผลให้กะหล่ำปลีเหี่ยวได้ ต่อมาเมื่อนำวัตถุดิบลำเลียงสู่โรงงานต้องทำด้วยความระมัดระวัง ในขณะขนย้ายวัตถุดิบลงจากพาหนะและในระหว่างการแปรรูปเพื่อป้องกันความเสียหายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับวัตถุดิบ เช่น การแตกหัก การเกิดรอยขีดทำให้วัตถุดิบมีคุณภาพลดลง ในผลมะเขือเทศการเกิดรอยขีดบนผิวทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ ผลไม้บางชนิดเมื่อเกิดรอยขีดเร่งอัตราการสุกให้เร็วขึ้น เช่น มะม่วง และกล้วย เป็นต้น วัตถุดิบบางส่วนที่มากเกินไปที่โรงงานผลิตได้ทันเวลาควรเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำเฉลี่ย 5 – 12 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 – 95 ทั้งนี้เพื่อลดอัตราเร็วของกระบวนการทางชีวเคมีและการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อของผักและผลไม้



ภาพที่ 3.1 การเก็บเกี่ยวกะหล่ำปลี
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

3.2 การทำความสะอาดวัตถุดิบ

วัตถุประสงค์ของการทำความสะอาดเพื่อแยกสิ่งสกปรก เศษดิน กรวด หิน ทราย และสิ่งเจือปนที่ติดมากับวัตถุดิบออกไปตลอดจนยังเป็นการกำจัดไข่แมลง ตัวแมลงและจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบด้วย วิธีการทำความสะอาดวัตถุดิบมี 2 วิธีหลัก คือ

3.2.1 การใช้น้ำ

การใช้น้ำเป็นวิธีปฏิบัติกันโดยทั่วไป มีทั้งแช่วัตถุดิบในน้ำ (soaking) (ภาพที่ 3.2) การแช่ในถังน้ำที่มีการกวน (washing by agitating in water) (ภาพที่ 3.3) และการฉีดน้ำ (spraying) (ภาพที่ 3.4) ในระหว่างการทำทำความสะอาดอาจมีการขัดถูผิวผักหรือผลไม้ควบคู่กันไปด้วยเพื่อเป็นการกำจัดเศษโคลนดินที่เกาะติดแน่นกับผิวผักหรือผลไม้ให้หมดไป แต่การกระทำต้องระมัดระวังไม่ให้ผิวของผักหรือผลไม้เกิดรอยขีด เพราะทำให้คุณภาพของวัตถุดิบลดลง ในน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดมีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบด้วย



ภาพที่ 3.2 การแช่วัตถุดิบในน้ำ
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน



ภาพที่ 3.3 การแช่ในถังที่มีการกวน
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน



ภาพที่ 3.4 การฉีดพ่นในวัตถุดิบ
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

สารเคมีที่นิยมเติมได้แก่ คลอรีน ประสิทธิภาพของคลอรีนในการลดปริมาณจุลินทรีย์ขึ้นกับปริมาณคลอรีนอิสระ (free residual chlorine) สารปนเปื้อน (impurity) ในน้ำค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของน้ำเมื่อเติมสารคลอรีนในน้ำที่มีสารปนเปื้อนสูงคลอรีนทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนในน้ำ เช่น เหล็ก แมงกานีส ไนโตรเจน และซัลไฟด์ เป็นต้น ทำให้ประสิทธิภาพของคลอรีนลดลงซึ่งคลอรีนส่วนนี้ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้เรียกคลอรีนจำนวนนี้ว่า คลอรีนดีมานด์ (chlorine demand) ของน้ำ ถ้าน้ำมีสารปนเปื้อนสูงน้ำก็มีค่าคลอรีนดีมานด์สูงด้วย ส่วนคลอรีนที่เหลือจากคลอรีนดีมานด์เรียกว่า คลอรีนคงเหลือ (residual chlorine) คลอรีนคงเหลือนี้อาจอยู่ในรูปของอนุมูลของคลอรีนที่รวมตัวกับสารประกอบในน้ำอย่างหลวม ๆ (combined residual chlorine) หรืออยู่ในรูปของคลอรีนอิสระซึ่งเป็นอนุมูลคลอรีนอิสระที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ได้ ปกติน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดวัตถุดิบในโรงงานมีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นของคลอรีน

อิสระ 10 – 100 ส่วนในล้านส่วนเพื่อเสริมประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ที่ติดมากับผิวผักและผลไม้

สารประกอบคลอรีนที่นิยมเติมลงในน้ำล้างวัตถุดิบมีหลายชนิดเช่น คลอรีนลว (gaseous chlorine) ไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite) และคลอรามิน (chloramines) เป็นต้น การใช้คลอรีนในอุตสาหกรรมอาหารมีข้อเสียอยู่คือคลอรีนทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะได้ ดังนั้นจึงมีการเติมโซเดียมโครเมท (sodium chromate) ลงในน้ำล้างด้วยเพื่อชะลอการกัดกร่อนของอุปกรณ์ที่ใช้ วัตถุดิบบางชนิดมีไขแมลงติดมากับผิว เช่น มะเขือเทศ อาจมีไขแมลงหวี่ติดมาที่ผิวจำนวนมาก หรือไขแมลงวันทองที่ติดมากับผลไม้บางชนิด เป็นต้น

วิธีการล้างปกติไม่สามารถกำจัดออกได้หมด ดังนั้นเมื่อล้างทำความสะอาดวัตถุดิบเหล่านี้ ควรแช่วัตถุดิบในสารละลายต่างคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 1.0 โดยมีอุณหภูมิ 49 – 54 องศาเซลเซียส แล้วฉีดด้วยน้ำสะอาดที่มีแรงดันประมาณ 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้วอีกครั้งเพื่อเป็นการลดหรือกำจัดไขแมลงได้ถึงร้อยละ 99

3.2.2 การใช้ลมเป่า

การใช้ลมเป่าเป็นวิธีที่ใช้กับผักหรือผลไม้ที่มีขนาดเล็กและไม่ต้องการสัมผัสกับน้ำเนื่องจากอาจทำให้เน่าเสียหรือการงอกเช่น เมล็ดถั่วซึ่งมีการแยกสิ่งสกปรกต่าง ๆ ด้วยการใช้ลมเป่าและร่อนผ่านตะแกรงกำจัดสิ่งเจือปนที่มีสมบัติทางกายภาพต่างจากวัตถุดิบ เช่น เศษเปลือก กิ่งไม้ ฝุ่น และผง เป็นต้น

3.3 การปอกเปลือกผักและผลไม้ (peeling)

ผักและผลไม้หลายชนิดก่อนนำมาแปรรูปจำเป็นต้องมีการกำจัดเปลือกก่อนดังนั้นการปอกเปลือกด้วยวิธีที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการสูญเสียมากเกินไป และยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียมากขึ้น ดังนั้นการปอกเปลือกจึงมีการพัฒนาให้มีความเหมาะสมต่อวัตถุดิบแต่ละชนิด วิธีการปอกเปลือกในทางอุตสาหกรรมสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การปอกเปลือกด้วยมือ การปอกเปลือกด้วยเครื่องจักร การใช้ด่าง และการใช้น้ำหรือน้ำร้อน เป็นต้น

3.3.1 การปอกเปลือกด้วยมือ (hand peeling)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายใช้แรงงานคนและอุปกรณ์ในการปกเปลือกคือมีดซึ่งนิยมใช้กับผักและผลไม้ที่ไม่ทนต่อแรงกระแทกของเครื่องจักรและไม่ทนต่อสารเคมี เช่น เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ และข้าวโพดฝักอ่อน เป็นต้น การปกเปลือกด้วยมือนี้มีค่าใช้จ่ายสูงเสียเวลาในการปกเปลือกมากและอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่ายถ้าผู้ปกเปลือกก่อตัวดื่มน้ำไม่สะอาด

3.3.2 การลอกเปลือกด้วยเครื่องจักร (mechanical peeling)

เครื่องจักรที่ใช้ปอกเปลือกผักและผลไม้ถูกสร้างขึ้นมาให้มีความเหมาะสมต่อวัตถุดิบชนิดหนึ่ง ๆ โดยตรงเช่นเครื่องปอกเปลือกและเจาะแกนสับปะรดที่เรียกว่าจินากา (Ginaca) ซึ่งปอกเปลือกและเจาะแกนสับปะรดไปพร้อม ๆ กัน เครื่องนี้มีใบมีดเป็นรูปทรงกระบอกหมุนด้วยความเร็วสูงสามารถปอกเปลือกและเจาะแกนสับปะรดได้สูงถึง 100 ผลต่อนาทีหรือมากกว่าโดยใช้แรงงานคนเพียง 3 - 4 คนเท่านั้น

ส่วนพวกผักหัวใต้ดินเช่น มันฝรั่ง แครอท เครื่องจักรที่ใช้ถูกออกแบบให้เกิดการขัดสีขณะที่ปอกเปลือกทำให้เปลือกหลุดออกง่าย การเสียดสีเกิดจากผิวของวัตถุดิบเองหรือระหว่างผิววัตถุดิบกับผิวภายในของเครื่องจักรซึ่งมีลักษณะหยาบ ขรุขระ ช่วยให้การขูดเปลือกออกได้ดีขึ้น วัตถุดิบถูกเหวี่ยงให้กลิ้งอยู่ภายในเครื่องจนกว่าจะถูกปอกเปลือกในระดับที่ต้องการใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอมีผิวบางและเรียบมีรอยบุ๋มจากตาจำนวนน้อย

3.3.3 การลอกเปลือกด้วยด่าง (lye peeling หรือ caustic peeling)

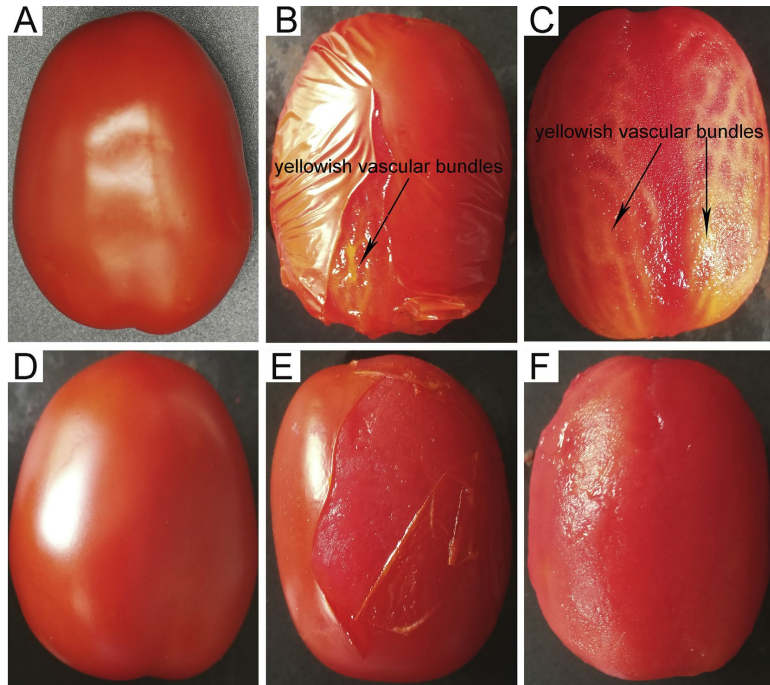
การลอกเปลือกผักและผลไม้โดยการจุ่มในต่างร้อนที่มีความเข้มข้นและเวลาเหมาะสมขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบนั้น ๆ ต่างที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นิยมใช้ลอกเปลือกวัตถุดิบที่มีเปลือกไม่หนามากนัก เช่น มะเขือเทศ มันฝรั่ง แครอท ฝรั่ง ท้อ และมะม่วง เป็นต้น การแช่ในสารละลายต่างทำให้เกิดการละลายของสารเพกทินในมิดเดิลเลเมลลาทำให้ส่วนเปลือกหลุดออกง่าย ความเข้มข้นของด่างที่ใช้ในการลอกเปลือกคือร้อยละ 1.0 – 2.5 หรือมากกว่าขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ วิธีการลอกเปลือกด้วยด่างนี้มี 2 รูปแบบ คือ การลอกเปลือกด้วยด่างแห้ง (dry caustic peeling) และการลอกเปลือกด้วยสารละลายต่าง (wet caustic peeling)

3.3.3.1 การปกปิดด้วยต่างแห่ง

การปอกเปลือกด้วยต่างแห้งใช้เมื่อต้องการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการปอกเปลือก นิยมใช้กับมันฝรั่งและผักที่เจริญมาจากส่วนของราก เช่น แครอท และหัวผักกาด เป็นต้น วิธีนี้ใช้ต่างเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบคลุกเคล้าต่างให้เกาะผิววัตถุดิบจนทั่ว เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้พลังงานอินฟราเรดจนกระทั่งอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุดิบเพิ่มเป็น 77 – 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำวัตถุดิบมาขัดเอาเปลือกออกด้วยแปรงหรือใช้น้ำชะล้างเบา ๆ

3.3.3.2 การปอกเปลือกด้วยสารละลายต่าง

การปอกเปลือกด้วยสารละลายต่างใช้ต่างในรูปสารละลายในการปอกเปลือก โดยการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายต่าง 100 – 120 องศาเซลเซียส ก่อนแช่ผักหรือผลไม้ที่ต้องการปอกเปลือกลงไปแช่ด้วยระยะเวลาหนึ่งแล้วล้างด้วยการฉีดพ่นน้ำด้วยแรงดันสูงเพื่อให้เปลือกถูกกำจัดออกได้โดยง่าย ประสิทธิภาพของวิธีนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิของสารละลายและเวลาในการแช่ วิธีการนี้วัตถุดิบมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นดังนั้นจึงควรแช่ผักหรือผลไม้ที่ได้จากการปอกเปลือกลงในสารละลายกรด เช่น กรดซิตริก หรือกรดไฮโดรคลอริกเพื่อให้กรดช่วยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของวัตถุดิบให้เป็นกลางแล้วล้างน้ำสะอาดอีกครั้งก่อนนำไปแปรรูปต่อไป การปอกเปลือกด้วยสารละลายต่างยังสามารถใช้ร่วมกับคลื่นอัลตราซาวด์ ตัวอย่างการปอกเปลือกของมะเขือเทศเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที แล้วใช้คลื่นอัลตราซาวด์ 31.97 วัตต์ต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 วินาที สามารถปอกเปลือกได้ร้อยละ 100 โดยปริมาณการลอกเปลือกและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศสูงกว่าวิธีการปอกเปลือกด้วยต่างเพียงอย่างเดียวดังภาพที่ 3.5 แสดงความเสียหายของชั้นสีแดงของมะเขือเทศโดยวิธีการปอกเปลือกด้วยต่างซึ่งเห็นชั้นสีเหลืองของแวคิวลาร์บันเดล (ระบุโดยลูกศรในภาพ B) สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนบนพื้นผิวของมะเขือเทศที่ปอกเปลือกดังภาพ C ซึ่งส่วนใหญ่ของชั้นสีแดงหายไป ซึ่งการปอกเปลือกด้วยต่างร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราซาวด์มียังคงมีชั้นสีแดง (บริเวณที่ลึกกว่าของ exocarp) โดยไม่มีสีเหลืองให้เห็น ดังนั้นการใช้ความเข้มข้นของต่างที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อชั้นสีแดง



ภาพที่ 3.5 มะเขือเทศสด (A) ใช้สารละลายต่างความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วินาที (B) ปอกเปลือก (C) ใช้สารละลายต่างความเข้มข้นร้อยละ 4 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที (D) และต่อมาใช้คลื่นอัลตราซาวด์ 31.97 วัตต์/ลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 วินาที (E) แล้วปอกเปลือก (F) ที่มา: Gao และคณะ (2018)

3.3.4 การปอกเปลือกด้วยไอน้ำ (steam peeling)

การปอกเปลือกผักและผลไม้ด้วยการใช้ไอน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศหรือภายใต้ความดันสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลายชนิด เช่น พืชหัวต่าง ๆ และมะเขือเทศ เป็นต้น การปอกเปลือกด้วยไอน้ำควบคู่กับการทำความเย็นแบบสุญญากาศและลูกกลิ้งสั๊กหลอดเป็นทางเลือกหนึ่งในการปอกเปลือกมะเขือเทศด้วยน้ำค้าง การให้ความร้อนกับมะเขือเทศด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 131 องศาเซลเซียส เวลา 15 วินาที ไอน้ำที่มีแรงดันทำให้ผิวมะเขือเทศอ่อนตัวลงผ่านการระเหยของน้ำใต้ผิวในระหว่างการทำความเย็นแบบสุญญากาศความดันไอที่เพิ่มขึ้นภายใต้ผิวช่วยให้เกิดรอยแตกดังภาพที่ 3.6 การ

ปอกเปลือกด้วยไอน้ำและการทำความเย็นแบบสุญญากาศเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม แต่อาจส่งผลให้มะเขือเทศนิ่มและเปลือกหลุดลอกน้อย การปอกเปลือกด้วยไอน้ำต้องควบคุมความร้อนที่ใช้ในการปอกเปลือกเพื่อป้องกันการสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยความร้อนที่ใช้ไม่ควรส่งผลกระทบต่อเนื้อของวัตถุดิบ เป็นเพียงการทำให้เปลือกหลุดร่อนออกมาเท่านั้น



ภาพที่ 3.6 การปอกเปลือกด้วยไอน้ำร้อนควบคู่กับการทำให้เย็นแบบสุญญากาศ
ที่มา: Smith และ Hui (2004)

3.3.5 การปอกเปลือกด้วยน้ำร้อน (hot water peeling)

การปอกเปลือกด้วยน้ำร้อนเป็นการจุ่มวัตถุดิบลงในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบหนึ่ง ๆ เช่น มะเขือเทศ มันเทศ เป็นต้น แต่วิธีนี้ทำให้น้ำบางส่วนเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบทำให้เนื้อวัตถุดิบมีปริมาณความชื้นสูง ลักษณะนิ่มและแฉะมีการสูญเสียสารอาหารที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างมาก จากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงวิธีการปอกเปลือกโดยการปอกเปลือกด้วยน้ำร้อนที่เวลาต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันและเนื้อเยื่อยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์มากกว่าการใช้ไอน้ำร้อนและน้ำร้อนที่ 20 นาที อย่างไรก็ตามหากต้องการปอกเปลือกผลไม้ด้วยวิธีที่ง่ายและประหยัดต้นทุนการต้มที่เวลา 5 และ 10 นาที จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรนำมาใช้ในการปอกเปลือก (Cacerse และคณะ, 2012) การปอกเปลือกผักหรือผลไม้อาจทำได้มากกว่า 1 วิธี และนอกเหนือจากวิธีที่กล่าวมายังมีวิธีปอกเปลือกอีกหลายวิธีที่ใช้ เช่น การปอกเปลือกด้วยกรด การปอก

เปลือกด้วยการแช่แข็ง การปอกเปลือกด้วยเปลวไฟ เป็นต้น การเลือกวิธีการปอกเปลือกแบบใดนั้น ควรพิจารณาจากความง่ายของการปฏิบัติงาน ระยะเวลาที่ใช้ ลักษณะของวัตถุดิบหลังการปอกเปลือก ร้อยละการสูญเสียเนื่องมาจากการปอกเปลือกมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอีกทั้งผลของแต่ละวิธีการปอกเปลือกมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 3.1 ผลของวิธีการปอกเปลือกและเวลาต่อคุณภาพของผลไม้

เวลา (นาที)	วิธีปอกเปลือก		
	ต้มในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2.5	ไอน้ำร้อน	น้ำร้อนอุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส
5	100 ^{aA}	0 ^{bB}	0 ^{bB}
10	100 ^{aA}	0 ^{bB}	0 ^{bB}
15	100 ^{aA}	5 ^{bB}	5 ^{bB}
20	100 ^{aA}	57 ^{cA}	70 ^{bA}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ในแนวนอนและตัวเล็กในแนวนอนที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ที่มา: Cacerse และคณะ (2012)

3.4 การลวก (blanching)

ในการแปรรูปผักและผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนการลวกอยู่เสมอโดยวัตถุประสงค์ของการลวกคือกำจัดรสชาติที่ไม่ต้องการบางอย่าง เช่น รสขม และรสเผ็ด เป็นต้น เพื่อให้เนื้อเยื่อของผักและผลไม้อ่อนตัวลงทำให้ลดความเสียหายในระหว่างการบรรจุ เพื่อไล่อากาศออกจากเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ทำให้เนื้อผักและผลไม้สีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดแรงดันที่อาจเกิดขึ้นภายในภาชนะบรรจุระหว่างการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อเพื่อช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เบื้องต้นที่ติดมากับผิวของวัตถุดิบ เพื่อช่วยรักษาสีของวัตถุดิบเช่นระหว่างการลวกแคโรทีนอยด์ในส่วนที่เป็นหยดน้ำมันถูกละลาย

ออกไปจึงช่วยป้องกันการถูกออกซิเดชันระหว่างการทำแห้งซึ่งทำให้สีเปลี่ยนไปได้ การลวกยังเป็น การระงับปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่มีอยู่อันมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี กลิ่น และรสชาติ เนื่องมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้

การลวกละนิยมนำผักมากกว่าผลไม้ ส่วนผลไม้ใช้สารเคมีมากกว่า วิธีการลวกสามารถทำได้ หลายวิธี เช่น การใช้ไอน้ำ การใช้น้ำร้อน การใช้รังสีอินฟราเรด และการใช้ไมโครเวฟ เป็นต้น การ เลือกใช้วิธีใดขึ้นกับชนิดและขนาดของวัตถุดิบ รวมทั้งความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ เนื้อเยื่อของวัตถุดิบเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความร้อน เช่น การสูญเสียสารอาหาร การ เปลี่ยนแปลงสี และการนิ่มละ เป็นต้น

น้ำที่ใช้ลวกควรเป็นน้ำอ่อน เนื่องจากอออนของแคลเซียมทำให้ผักอ่อนมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง แต่ ผักที่มีลักษณะอ่อนนิ่มเกินไปอาจลวกในน้ำที่มีแคลเซียมเพื่อช่วยให้เนื้อสัมผัสแน่นแข็งขึ้น สำหรับ การลวกเพื่อการทำแห้งเติมซัลไฟต์ในน้ำด้วย ส่วนผักสีเขียวเติมโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อปรับค่าความ เป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้นช่วยรักษาสีของคลอโรฟิลล์เอาไว้ การลดการเปลี่ยนแปลงสีของแครอทนิยมเติม ฟอสเฟตเนื่องจากอออนของเหล็กที่อาจปะปนในน้ำลวกทำให้สีของผักเปลี่ยนไป การลวกด้วยไอน้ำมี ประสิทธิภาพในการใช้ความร้อนสูงกว่าน้ำเดือด ไอน้ำมีประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ได้ดีกว่า น้ำเดือดอีกทั้งการสูญเสียสารอาหารที่ละลายในน้ำที่ใช้ลวกต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามวิธีการลวกในน้ำ ร้อนนิยมใช้มากกว่าเพราะสามารถเติมสารเคมีลงในน้ำที่ใช้ลวกได้อีกทั้งผิวของวัตถุดิบสามารถสัมผัส กับความร้อนได้อย่างทั่วถึงมากกว่าการใช้ไอน้ำ การลวกไม่ว่าเป็นวิธีใดก็ตามความร้อนที่ใช้จะมี ผลเสียต่อวัตถุดิบได้หลายอย่าง เช่น การนิ่มละของเนื้อเยื่อ การสูญเสียสารอาหารเนื่องจากความ ร้อนและการแตกของเซลล์ ความขุ่น ความใส รสชาติ และสีของผักและผลไม้เปลี่ยนแปลงได้มาก ดังนั้นการลวกวัตถุดิบจึงต้องควบคุมอุณหภูมิ และเวลาให้เหมาะสม โดยปกติอุณหภูมิในการลวกไม่ ควรสูงกว่า 95 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ หรือระยะเวลาการลวกนั้น สามารถประเมินได้จากการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ซึ่งเป็น เอนไซม์ที่ทนต่อความร้อนได้ค่อนข้างสูงกว่าเอนไซม์ชนิดอื่นที่พบในผักและผลไม้ จากตารางที่ 3.2 การลวกในน้ำเดือดใช้เวลาในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสสั้นกว่าลวกด้วยไอน้ำ เนื่องจากมันเทศถูกจุ่มในน้ำร้อนโดยตรงทำให้ความร้อนถูกถ่ายเทสู่เนื้อมันเทศได้เร็วกว่าการลวกด้วย ไอน้ำ การลวกด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ดี

เนื่องจากการระเหยของความชื้นจากความร้อนเฉพาะที่ช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้มากกว่าวิธีการลวกในน้ำเดือดและการลวกด้วยไอน้ำ (นรินทร์ และน้ำทิพย์, 2561)

ตารางที่ 3.2 ผลของวิธีการลวกที่แตกต่างต่อการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส

วิธีการลวก	กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส						
	0 วินาที	30 วินาที	60 วินาที	90 วินาที	120 วินาที	150 วินาที	180 วินาที
น้ำร้อน	+++++	++	+	-		-	-
ไอน้ำ	+++++	++++	+++	++	+	-	-
วิธีการลวก	0 วินาที	30 วินาที	40 วินาที	50 วินาที	60 วินาที	70 วินาที	80 วินาที
ไมโครเวฟ	+++++	+	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: + หมายถึง เกิดสีน้ำตาลแดงในการทดสอบแสดงว่ามีการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดส จำนวนเครื่องหมายมากขึ้นแสดงความเข้มข้นของสี, - หมายถึง ไม่เกิดสีน้ำตาลแดงแสดงว่าไม่มีการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส

ที่มา: นรินทร์ และน้ำทิพย์ (2561)

ดังนั้นวิธีการลวกแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาจึงใช้เอนไซม์เป็นเกณฑ์เมื่อเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ถูกทำลายแล้วเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ก็ถูกทำลายเช่นเดียวกัน และระยะเวลาการลวกที่เหมาะสมของวัตถุดิบนั้นคือระยะเวลาการลวกที่สั้นที่สุดที่สามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ หลังจากการลวกผักและผลไม้แล้วควรทำให้ผักและผลไม้เย็นตัวลงทันที โดยการใช้ลมเย็นเป่าหรือแช่ในน้ำเย็นและอาจเติมสารประกอบแคลเซียมลงในน้ำที่ใช้ลวกเพื่อช่วยลดการนิ่มและของผักและผลไม้ได้บ้างเพราะอนุมูลของแคลเซียมสามารถรวมตัวกับสารประกอบเพกทินเกิดเป็นเกลือแคลเซียมเพกเตต (calcium pectate) ที่ทนต่อความร้อนได้มากกว่าปกติ

3.5 การตัดแต่งวัตถุดิบให้มีขนาดตามต้องการ (size reduction)

การตัดแต่งวัตถุดิบให้มีขนาดตามต้องการโดยใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรที่เหมาะสม สิ่งที่ต้องระมัดระวังในขั้นตอนนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักหรือผลไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการใช้ความร้อนมาก่อน คือการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส หรือฟีนอลออกซิเดส หรือฟีนอลเลส (polyphenol oxidase, phenol oxidase, phenolase) ซึ่งทำให้บริเวณของผักหรือผลไม้ที่ถูกตัด หั่น หรือผ่า มีสีน้ำตาลคล้ำ โดยทั่วไปพบว่าผลไม้หรือผักที่มีความเป็นกรดต่ำมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกน้อยจะไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์นี้มาก การเกิดสีน้ำตาลบริเวณที่ถูกตัดแต่นั้นอาจเกิดจากออกซิเจนในอากาศเข้าไปกระตุ้นให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ดำเนินกิจกรรมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบจำพวกฟีนอล (phenolic compounds) ที่มีอยู่ในเซลล์ผักหรือผลไม้ เช่น แคทาโวล (catechol) ไทโรซีน (tyrosine) 3-4 ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3-4 , dihydroxy phenylalanine) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดคลอโรจีนิค (chlorogenic acid) และกรดแกลลิก (gallic acid) เป็นต้น จนสุดท้ายเกิดเป็นสารประกอบพวกควิโนน (quinone compounds) ที่มีสีคล้ำ

3.5.1 วิธีการลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

การลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้มีวิธีการดังนี้

3.5.1.1 ลดอุณหภูมิของผักและผลไม้

การลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ให้ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่กิจกรรมของเอนไซม์ดำเนินกิจกรรมได้โดยเฉพาะเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทำงานที่อุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส (optimum temperature) ได้ดีที่สุด

3.5.1.2 การลวกผักและผลไม้

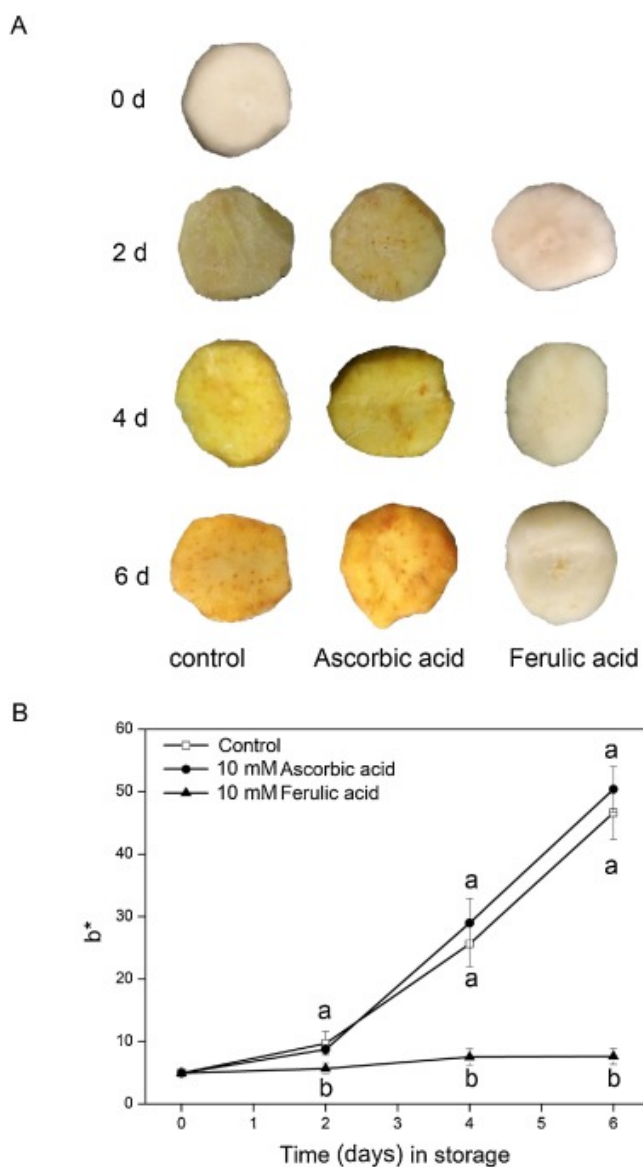
การลวกผักและผลไม้ทันทีหลังจากการตัดแต่งแล้วเสร็จทำให้เกิดการตกตะกอนของเอนไซม์ (coagulation) หรือเอนไซม์เกิดการเสียสภาพส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถดำเนินกิจกรรมต่อไปได้

3.5.1.3 การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของผักและผลไม้

การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของผักและผลไม้ให้มีค่าแตกต่างไปจากระดับที่เอนไซม์ดำเนินการได้โดยใช้กรดเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลงด้วยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำกว่า 2.5 การดำเนินการของเอนไซม์นี้หยุดลงโดยสิ้นเชิง

3.5.1.4 การเพิ่มสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant)

สารป้องกันการออกซิเดชัน เช่น กรดแอสคอร์บิก เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกช่วยลดปริมาณออกซิเจนที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาโดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนก่อน หรือไปรีดิวซ์สารประกอบควิโนนที่เกิดขึ้นทำให้กลับมาอยู่ในสภาพเป็นสารประกอบไดไฮดรอกซิล (dihydroxyl compound) เช่นเดิม และกรดแอสคอร์บิกเปลี่ยนไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) นอกจากนี้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแล้วสารบางชนิดยังป้องกันการเกิดสีเหลืองในเกาลัดจีนตัดแต่งพร้อมบริโภคนึ่งเป็นสาเหตุหลักของการสูญเสียคุณภาพ เช่น กรดเฟรูลิก (ferulic acid) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) ในพืชและเป็นตัวกลางในกระบวนการผลิตสารประกอบฟีนอลมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จากภาพที่ 3.7 แสดงผลของกรดแอสคอร์บิกและกรดเฟรูลิกต่อความเหลืองของเกาลัดจีนที่ตัดสด (A) ระยะเวลาของการทำให้เหลืองของเกาลัดจีนตัดแต่งพร้อมบริโภคนึ่งที่จุ่มกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ และกรดเฟรูลิกความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ระหว่างการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับเกาลัดจีนตัดสดจุ่มน้ำเป็นตัวควบคุม และการพัฒนาสีเหลืองของเกาลัดจีนตัดสด (B) โดยการจุ่มด้วยกรดเฟรูลิกยับยั้งการเกิดสีเหลืองในเกาลัดจีนพร้อมบริโภคนึ่งได้ในขณะที่การจุ่มด้วยกรดแอสคอร์บิกไม่สามารถยับยั้งการเกิดสีเหลือง (Song และคณะ, 2019)



ภาพที่ 3.7 ผลของกรดแอสคอร์บิก และกรดเฟรูลิกต่อความเหลืองของเกาลัดจีนที่ตัดสด (A) ระยะเวลาของการทำให้เหลืองของเกาลัดจีนตัดสดที่จุ่มด้วยกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ และกรดเฟรูลิกความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ระหว่างการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับเกาลัดจีนตัดสดจุ่มน้ำเป็นตัวแทนควบคุม และการพัฒนาสีเหลืองของเกาลัดจีนตัดสด (B) ที่มา: Song และคณะ (2019)

3.5.1.5 การเติมสารประกอบซัลไฟต์

สารประกอบซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กลีโอสัลไฟต์ กลีโอบิสซัลไฟต์ และกลีโอมิตาไบซัลไฟต์ เป็นต้น เติมลงในผักและผลไม้โดยสารประกอบเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดในผักหรือผลไม้แล้วทำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อละลายน้ำเกิดเป็นกรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) มีคุณสมบัติเป็นรีดิวซ์ซึ่งเอเจนท์ (reducing agent) ช่วยลดอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ นอกจากนี้การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลนอกจากวิธีข้างต้นแล้วอาจใช้สารประกอบโปแทสเซียมโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) กลีโองังและน้ำเชื่อมเพื่อป้องกันการละลายของออกซิเจนในผักและผลไม้ได้เช่นกัน

3.5.2 สารเคมีในการแปรรูปผักและผลไม้

การใช้สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้โดยทั่วไปมีการใช้สารเคมีบางชนิดร่วมด้วยซึ่งมีจุดประสงค์บางประการ เช่น ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ หรือช่วยให้กระบวนการแปรรูปสะดวกขึ้น หรือชะลอการเสื่อมคุณภาพและการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์นั้น สารเคมีที่นิยมใช้ในการแปรรูปผักและผลไม้โดยทั่วไปมีดังนี้

3.5.2.1 สารเคมีที่ช่วยให้เนื้อเยื่อของผักและผลไม้คงตัว (firming agent)

สารเคมีที่ช่วยให้ผักและผลไม้คงตัวได้แก่ สารแคลเซียมซึ่งอยู่ในรูปต่างๆ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น แคลเซียมนี้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทินเกิดเป็นเกลือเพกเตตซึ่งอยู่ในลักษณะที่คงตัว ไม่ละลายน้ำทำให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรงขึ้นและทนต่อความร้อนได้มากยิ่งขึ้นการใช้สารประกอบเหล่านี้ต้องพิจารณาความเป็นกรดต่างในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ ปริมาณการใช้เช่นการใช้สารประกอบแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ นั้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 พ.ศ. 2527 อนุญาตให้มีปริมาณแคลเซียมสูงสุดได้ไม่เกิน 800 ส่วนในล้านส่วน ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ด้วย เช่น ถั่วลิสงเตาบรรจุกระป๋อง ฟรุตสลัดบรรจุกระป๋องมีแคลเซียมได้ไม่เกิน 350 ส่วนในล้านส่วน มะเขือเทศทั้งผลบรรจุกระป๋องมีแคลเซียมได้ไม่เกิน 800 ส่วนในล้านส่วน ผลไม้ดอง แยม เยลลี่ และแช่อิ่มทุกชนิดมีแคลเซียมได้ไม่เกิน 250 ส่วนในล้านส่วน

2.5.2.2 สารที่ช่วยปรับปรุงความเป็นกรด (acidulant)

การแปรรูปผักและผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้กรดร่วมด้วยเสมอเพื่อปรุงแต่งรสชาติ ช่วยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ ช่วยลดอุณหภูมิการฆ่าเชื้อ ช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ และการงอกของสปอร์ เป็นต้น เงาะกระป๋องใช้กรดซิตริกในการปรับกรดโดยการเติมกรดเพื่อให้เกิดรสเปรี้ยวรู้สึกได้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.7 – 4.1 ซึ่งพบว่าความเปรี้ยวของกรดเรียงลำดับจากเปรี้ยวมากไปหาน้อยได้ดังนี้ กรดทาร์ทาริก กรดแลกติก กรดแอสติก และกรดซิตริก ตามลำดับ การใช้กรดในผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ และน้ำผลไม้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารกันเสียที่ใช้การเติมในอาหารกระป๋อง กรดช่วยลดอุณหภูมิการฆ่าเชื้อลงด้วย ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์พวกแยม เยลลี่ แซลมี ช่วยให้เกิดเจล เป็นต้น กรดที่นิยมใช้ในการแปรรูป ได้แก่ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก

1) กรดซิตริกเป็นกรดที่นิยมใช้มากที่สุดในการแปรรูปผักและผลไม้ ปริมาณการใช้ขึ้นกับวัตถุประสงค์เป็นสำคัญ

2) กรดแอสคอร์บิกเป็นกรดที่มีคุณสมบัติมากกว่ากรดอื่น คือ สามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผักและผลไม้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและสารสีพวกแคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานินได้ ปริมาณการใช้ขึ้นกับวัตถุประสงค์เป็นส่วนใหญ่

3) กรดมาลิก เป็นกรดที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์กล่อมขึ้น เช่น เครื่องดื่ม น้ำผัก น้ำผลไม้ที่ไม่มีแอลกอฮอล์ แยม เยลลี่ เป็นต้น นอกจากนี้ช่วยเน้นกลิ่นรสของผลไม้ในเครื่องดื่มประเภทอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย

4) กรดทาร์ทาริก เป็นกรดที่พบมากตามธรรมชาติในองุ่น มะขาม นิยมใช้มากในเครื่องดื่มต่างๆ นอกจากปรับปรุงกลิ่นรสแล้ว ยังพบว่ากรดทาร์ทาริกช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีองุ่นเป็นส่วนประกอบมีสีม่วงเด่นชัดขึ้น

3.5.2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปก๊าซหรือสารละลายกรดซัลฟูรัส หรือในรูปเกลือ เช่น เกลือซัลไฟต์หรือเกลือไบซัลไฟต์ วัตถุประสงค์การใช้คือเพื่อชะลอการเน่าเสีย เพื่อยับยั้งการเปลี่ยนสีของ

ผักและผลไม้และเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารกันเสียในผลิตภัณฑ์พวกน้ำผัก น้ำผลไม้ แยม และเยลลี่ เป็นต้น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารที่นิยมใช้กันมาก ช่วยลดการละลายของออกซิเจนลงจนถึงจุดที่จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนไม่เกิดการเจริญได้และยังสามารถทำลายโครงสร้างของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลต่อจุลินทรีย์เฉพาะบางชนิดซึ่งสามารถทำลายแบคทีเรียที่สร้างกรดแอซิดิก และสร้างกรดแลกติก ตลอดจนเชื้อราต่าง ๆ ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อยีสต์ และยีสต์ที่ต้องการอากาศถูกทำลายได้ง่ายกว่ายีสต์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน ช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ดีเพราะซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นรีดิวซ์ซึ่งเอเจนท์สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในระหว่างการตัดแต่งได้และยังช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากกรดแอมิโนกับน้ำตาลได้เช่นกันโดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปขัดขวางการเกิดสารสุดท้าย (end product) ที่มีสีน้ำตาลได้โดยทำให้สารที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยา (intermediate substances) คงตัวขึ้นนอกจากนั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินซี แคโรทีนในผักและผลไม้ได้ทั้งในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา

3.6 บทสรุป

การเตรียมผักและผลไม้เบื้องต้นก่อนการแปรรูปมีขั้นตอนตั้งแต่การรับวัตถุดิบเพื่อป้องกันความเสียหายต้องขนย้ายด้วยความระมัดระวัง หลีกเลี่ยงการแตกหักและรอยชำรุดเนื่องจากทำให้คุณภาพของวัตถุดิบลดลง การทำความสะอาดวัตถุดิบแบ่งเป็น 2 วิธีคือการใช้น้ำ และการใช้ลมเป่า จากนั้นปอกเปลือกผักและผลไม้ได้ทั้งวิธีการปอกเปลือกด้วยมือ เครื่องจักร การใช้ด่าง การใช้ไอน้ำ หรือน้ำร้อน การเลือกวิธีการปอกเปลือกแบบใดขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ และวัตถุประสงค์ของการใช้วัตถุดิบ เช่น ถ้าต้องการปอกเปลือกมะเขือเทศควรใช้การปอกเปลือกด้วยด่างเนื่องจากมะเขือเทศมีเปลือกไม่หนาด่างช่วยให้เกิดการละลายของสารเพกทินในส่วนมิดเดิลเลเมลลาทำให้เปลือกหลุดออกได้ง่าย การลวกเป็นวิธีช่วยกำจัดรสชาติที่ไม่ต้องการ ลดความเสียหายระหว่างการบรรจุ โล่อากาศออกจากเนื้อเยื่ออีกทั้งช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เบื้องต้นที่ติดมากับผิววัตถุดิบ การตัดแต่งวัตถุดิบให้มีขนาดตามต้องการขั้นตอนนี้มีการใช้สารเคมีในการแปรรูปมาช่วยทั้งสารเคมีที่ช่วยให้เนื้อเยื่อของผักและผลไม้คงตัวและช่วยปรับปรุงความเป็นกรด เช่น กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และ กรดมาลิก เป็นต้น

แบบฝึกหัด

1. วัตถุประสงค์ของการทำความสะอาดวัตถุดิบ คืออะไร
2. ให้อธิบายวิธีการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นสำหรับการแปรรูปผักและผลไม้
3. การปอกเปลือกด้วยไอน้ำ และน้ำร้อนแตกต่างกันอย่างไร
4. สารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้ได้แก่อะไรบ้าง
5. ให้อธิบายคุณสมบัติของสารประกอบซัลไฟด์ต่อคุณภาพของผักและผลไม้

เอกสารอ้างอิง

- นรินทร์ เจริญพันธ์ และน้ำทิพย์ มีมุข. (2561). ผลของวิธีการลวกที่แตกต่างกันต่อคุณภาพมันเทศเนื้อสีส้ม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 26(6), 981–992.
- Caceres, L.G., Andrade, J.S., & Silva Filho, D.F. (2012). Effects of peeling methods on the quality of cubiu fruits. *Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas*, 32(2), 255–260.
- Geo, R., Ye, F., Lu, Z., Wang, J., Le Shen, X., & Zhao, G. (2018). A novel two-step ultrasound post-assisted lye peeling regime for tomatoes: Reducing pollution while improving product yield and quality. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 45, 267–278.
- Smith, J., & Hui, Y. (2004). *Food processing: principles and applications*. Blackwell.
- Song, M., Wu, S., Shuai, L., Duan, Z., Chen, Z., Shang, F., & Fang, F. (2019). Effects of exogenous ascorbic acid and ferulic acid on the yellowing of freshcut Chinese water chestnut. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 15–21.

บทที่ 4 การแปรรูปผักและผลไม้โดยใช้อุณหภูมิต่ำ

การแปรรูปผักและผลไม้โดยใช้อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการเก็บรักษาเพื่อให้ผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปมาแล้วมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น นอกจากนี้ยังรวมถึงการใช้อุณหภูมิต่ำในระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายด้วย การแปรรูปที่อุณหภูมิต่ำมีทั้งการแช่เย็น เช่น ค่น้ำ บร็อกโคลีที่ถูกหั่นเป็นชิ้นและบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกซึ่งสามารถแช่เย็นวางจำหน่ายได้นานประมาณ 7 วัน และการแช่แข็ง เช่น สตรอเบอร์รี่ และถั่วลันเตา เมื่อผ่านการแช่แข็งสามารถเก็บได้นานมากกว่า 6 เดือน อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต้องคำนึงถึงลักษณะของพืชแต่ละชนิดด้วย บางชนิดทนความเย็นได้ดี บางชนิดไม่สามารถทนความเย็นจึงส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้

4.1 การแปรรูปผักและผลไม้แช่เย็น

การแปรรูปผักและผลไม้โดยใช้อุณหภูมิต่ำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ผลิตรัณฑ์ผักและผลไม้แช่เย็น และผลิตรัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็งทั้งนี้เพื่อให้ผักและผลไม้ดังกล่าวคงสภาพความสดใกล้เคียงกับผักและผลไม้สดมากที่สุด

4.1.1 หลักการแปรรูปผักและผลไม้แช่เย็น

การแช่เย็นผักและผลไม้เป็นการเก็บรักษาผักและผลไม้ก่อนการจำหน่ายหรือก่อนการนำผักและผลไม้ไปแปรรูปเป็นผลิตรัณฑ์ต่อไป การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่มีอุณหภูมิต่ำไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับผักและผลไม้แต่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและจุลินทรีย์ยืดอายุของผักและผลไม้ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้อยู่ในช่วง 0 – 15 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้ซึ่งแตกต่างกันไป ผักและผลไม้ในเขตร้อนใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่าผักและผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาว ตามลำดับ อุณหภูมิในการเก็บรักษาผักและผลไม้ถ้าต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตได้ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (0 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า) น้ำในเซลล์เกิดการแข็งตัว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์และออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ฉีกขาด และเซลล์ตายได้

4.1.2 วิธีการแปรรูปผักและผลไม้โดยใช้ความเย็น

การแช่เย็นผักและผลไม้ต้องผ่านขั้นตอนการล้างทำความสะอาด ตัดแต่ง คัดคุณภาพ การบรรจุหีบห่อ และการแช่เย็นโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.2.1 การรับวัตถุดิบ

ผลิตผลถูกเก็บเกี่ยวลงในภาชนะขนาดใหญ่ เช่น ถัง เชน หรือลังไม้ภายในแปลงปลูกส่งต่อไปโรงคัดบรรจุหรือโรงบรรจุหีบห่อ หลังจากนั้นก็ถูกถ่ายเทออกเพื่อการเตรียมจำหน่าย คุณภาพของผลผลิตแตกต่างกันไปมีทั้งผลขนาดใหญ่และเล็กคละกัน รวมทั้งมีวัสดุแปลกปลอมติดมาด้วย เช่น ดิน แมลง ตลอดจนกิ่งก้าน และใบไม้ ขั้นตอนนี้ผลผลิตยังมีความสดจึงบอบช้ำเสียหายง่าย การขนย้ายผลผลิตเข้าสู่โรงคัดบรรจุที่มีขนาดใหญ่นิยมรถขนที่เข้าถึงถึงที่มีน้ำบรรจุอยู่เพื่อลดแรงกระแทก ตัวอย่างการขนแครอทเข้าสู่โรงงานโดยใช้รถขนาดใหญ่เทผลผลิตลงสู่ถังน้ำเย็นเพื่อลดความร้อน และทำความสะอาดไปพร้อมกัน (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 การขนถ่ายแครอทสู่ถังน้ำเย็น

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

4.1.2.2 การคัดเลือก (sorting)

การคัดเลือกผลผลิตเอาส่วนที่เสียหรือไม่ได้มาตรฐานออกเหลือในส่วนผลผลิตที่มีคุณภาพดี นอกจากนั้นยังอาจคัดเลือกผลผลิตออกเป็นกลุ่มตามความแก่ รูปร่าง สี และคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ การคัดเลือกผลผลิตบางชนิดอาจใช้เครื่องมือช่วยทำให้รวดเร็วขึ้น

4.1.2.3 การทำความสะอาด (cleaning)

ผักและผลไม้จำเป็นต้องทำความสะอาดเพื่อไม่ให้ปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น ดิน ฝุ่น สารเคมี แมลง และเชื้อโรคซึ่งทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วหรืออาจเป็นพิษต่อผู้บริโภคได้ การทำความสะอาดส่วนใหญ่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดต้องเป็นน้ำที่ปราศจากเชื้อโรคที่อาจเข้าทำลายผลิตผลได้จึงควรใช้คลอรีนผสมน้ำและรักษาให้มีความเข้มข้นระหว่าง 50 – 200 ส่วนในล้านส่วน แปร่งที่ใช้ในการขัดทำความสะอาดต้องไม่แข็งมากเกินไปจนทำให้ผิวของผลิตผลเกิดบาดแผลได้ ผลไม้ที่มียาง เช่น มะม่วง การทำความสะอาดต้องระวังยางที่ขูดมาถูกผิวเพราะอาจเกิดบาดแผลที่ผิวผลไม้ได้ ภายหลังการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วผลผลิตต้องถูกฉีดล้างด้วยน้ำสะอาดเป็นครั้งสุดท้าย

4.1.2.4 การทำให้ผิวนอกแห้ง (drying)

ผลผลิตที่ผ่านการล้างน้ำแล้วต้องผึ่งให้ผิวนอกแห้งเพื่อกำจัดน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวของผลิตผลออกซึ่งอาจเร่งให้เร็วขึ้นโดยใช้ลมเป่า แต่การผึ่งต้องไม่นานเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลและเสียน้ำหนักได้ และยังอาจทำให้ผักเหี่ยวเฉาด้วย

4.1.2.5 การปรับสภาพผิวภายนอก (curing)

การปรับสภาพผิวนอกเป็นวิธีที่ใช้ปฏิบัติกับผลผลิตบางชนิด เช่น มันเทศ มันฝรั่ง เผือก กระเทียม หัวหอม และหอมหัวใหญ่ เนื่องจากเป็นผลิตผลที่ภายหลังการเก็บเกี่ยวมีรอยแผลจึงจำเป็นต้องทิ้งไว้ในระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ผลิตผลสร้างเนื้อเยื่อพวกเพอริเดอร์ม (periderm) เพื่อปิดบาดแผล หรือทำให้เกิดผิวนอกขึ้น (skinned surface) ตัวอย่างการเก็บรักษามันฝรั่งเพื่อปรับสภาพผิวภายนอกดังภาพที่ 4.2 ระยะเวลาการปรับสภาพผิวภายนอกของมันฝรั่งในสภาพการเก็บรักษาปกติให้เก็บที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-90 มีการระบายอากาศเพียงพอช่วยให้มันฝรั่งมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น



ภาพที่ 4.2 การปรับสภาพผิวภายนอกของมันฝรั่ง
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

4.1.2.6 การตัดแต่ง (trimming)

ผลิตผลส่วนใหญ่หลังการเก็บเกี่ยวมีส่วนที่ไม่ต้องการติดมาด้วยจึงต้องตัดแต่งให้น่าดู เช่น ส่วนราก ใบ ก้าน กิ่ง และขั้วของผล เป็นต้น การเก็บผลเงาะจากสวนจะมีส่วนของใบและกิ่งมาด้วยจึงต้องใช้กรรไกรตัดใบและก้านผลให้เหลือเป็นผลเดี่ยวก่อนลำเลียงใส่ตะกร้าเพื่อขนส่งไปจำหน่ายต่อไป

4.1.2.7 การคัดขนาด และการจัดมาตรฐาน (sizing and grading)

ผักและผลไม้ที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ มาแล้วยังมีการคละกันอยู่ เช่น ความแก่อ่อน ขนาดเล็กและใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีการคัดเลือกผลผลิตเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลผลิตต่อสายตาผู้บริโภคและเพิ่มผลตอบแทนในด้านการกำหนดราคาขายการคัดขนาดของผลิตผลตามลักษณะทางกายภาพโดยการชั่งน้ำหนัก ปริมาตร ความยาวหรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็นต้น การคัดขนาดอาจใช้คนหรือเครื่องมือคัดขนาด (ภาพที่ 4.3) โดยคัดตามน้ำหนักหรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

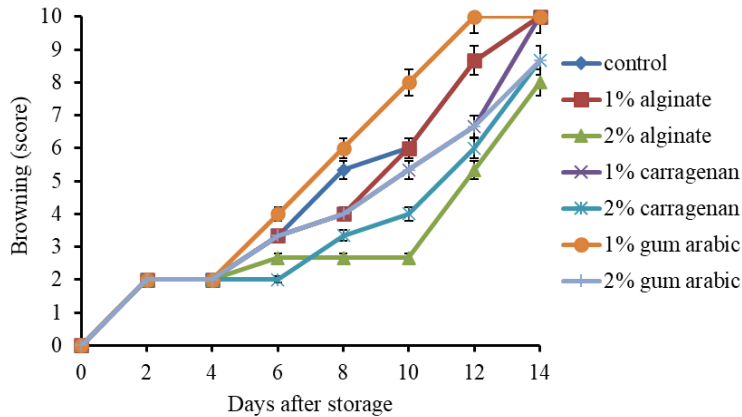


ภาพที่ 4.3 การคัดขนาดของผลส้ม

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

4.1.2.8 การเคลือบผิว (waxing)

การเคลือบไขมันใช้กับผลไม้ที่เป็นผลหรือรากเพื่อลดการคายน้ำออกจากผิวและช่วยปรับปรุงลักษณะของผลิตผลให้ดึงดูดความสนใจของผู้ซื้อ เช่น การเคลือบผิวของแอปเปิล วิธีการเคลือบไขมันอาจใช้วิธีการจุ่ม (dipping) ฉีดพ่นฝอย (spraying) และแปรงขัดผิว (brushing) วิธีฉีดพ่นฝอยอาจมีการสูญเสียไขมันมากต้องใช้ภาชนะรองรับ วิธีการจุ่มทำให้มีไขมันเคลือบอยู่ที่ผิวหนากว่าวิธีอื่น โดยทั่วไปไขมันเคลือบผิวมีสารเคมีฆ่าเชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรียเติมลงไปด้วยเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ไขมันที่ใช้เคลือบผิวของผลิตผลอยู่ในรูปของอิมัลชันระบบน้ำ-ไขมัน (water-wax emulsion) และชนิดของไขมันพอกไขมันคาโนบา (carnauba wax) เชลแลค (shellac) และเรซิน (resin) เป็นต้น สำหรับอิมัลชันที่ใช้ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน (triethanolamine) และกรดโอเลอิก (oleic acid) การเคลือบผิวผลไม้อาจทำร่วมกับสารที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ เช่น การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับสารเคลือบผิวอัลจินเตอ์ร้อยละ 2 ลดการเกิดสีน้ำตาลในผลลองกองได้มากที่สุด (ภาพที่ 4.4) โดยอัลจินเตอ์มีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบผิวจึงช่วยลดปริมาณออกซิเจนในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทำให้การเกิดสีน้ำตาลน้อย

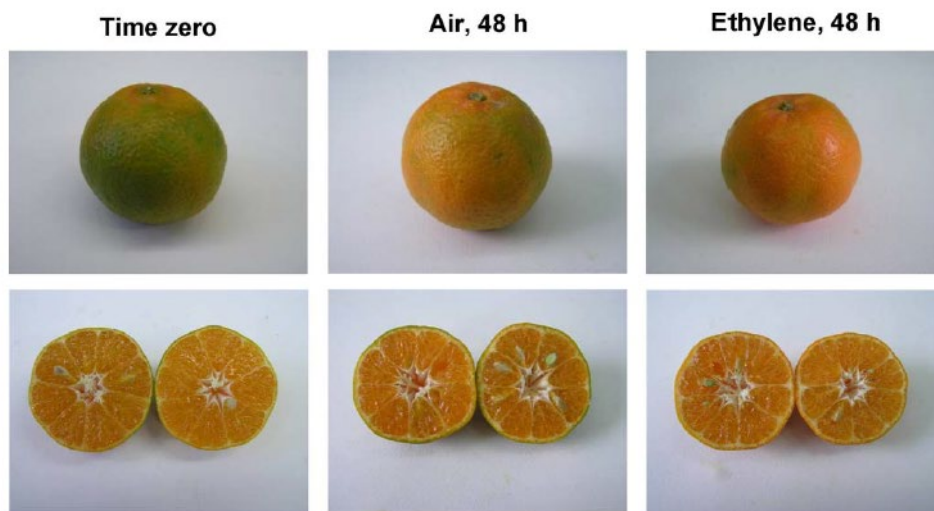


ภาพที่ 4.4 การเกิดสีน้ำตาลของผลลองกองที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยอัลจิเนต คาราจีแนน และกาวกัมที่ร้อยละ 1 และ 2 ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 2.0 มิลลิโมลาร์ และผงเปลือกลองกองความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 – 95

ที่มา: อินทิรา และคณะ (2561b)

4.1.2.9 การเร่งสลายสีเขียว (degreening)

การเร่งสลายสีเขียวเป็นการปฏิบัติสำหรับผลิตผลจำพวกส้ม มะนาว และเลมอน นอกจากนั้นยังใช้เร่งการสุกของผลไม้บางชนิด โดยเฉพาะกล้วยหอมเพื่อให้มีผิวสีเหลืองสวยงาม การใช้เอทิลีนมาช่วยในการเร่งสลายสีเขียวที่อุณหภูมิและความชื้นเหมาะสม การเร่งสลายสีเขียวของผิวส้มแมนดารินด้วยเอทิลีนที่ความเข้มข้นประมาณ 4 ไมโครลิตรต่อลิตร อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยการใช้เอทิลีนช่วยสลายสีเขียวและผิวของผลส้มปรากฏเป็นสีส้มได้ชัดเจนมากกว่าการเก็บรักษาในสภาพอากาศปกติ (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 ส้มแมนดารินก่อนและหลังการรมด้วยอากาศ และเอทิลีนเข้มข้น 4 ไมโครลิตรต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ที่มา: Mayuoni และคณะ (2011)

4.1.2.10 การบรรจุ (packing)

การบรรจุหีบห่อนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากทำให้การขนย้ายและการเก็บรักษาทำได้สะดวกและง่ายแล้ว การบรรจุหีบห่อยังช่วยปกป้องสินค้าให้อยู่ในสภาพดีสามารถระบุชนิด ขนาด จำนวนบรรจุ ตลอดจนแสดงเครื่องหมายการค้าได้ ผลผลิตแต่ละชนิดได้รับการบรรจุหีบห่อในลักษณะต่างกันออกไป เช่น ผลสตอเบอร์รี่ (ภาพที่ 4.6) ซึ่งการบรรจุผลสตอเบอร์รี่ในถาดพลาสติกเรียงในกล่องกระดาษช่วยในการขนส่งให้สะดวกขึ้นและเหมาะสมกับการวางจำหน่ายในร้านค้าเพื่อแสดงให้เห็นลูกค้าโดยไม่ต้องนำออกมาวางเรียงด้านนอกประหยัดพื้นที่ในการแสดงสินค้า ทั้งนี้การใช้บรรจุแบบใดขึ้นอยู่กับลักษณะตามธรรมชาติของผลิตผลแต่ละชนิดซึ่งมีขนาด รูปร่าง และสภาพหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ภาชนะบรรจุที่ใช้มีหลายชนิดเช่น ลัง พลาสติก และกล่องกระดาษ เป็นต้น



ภาพที่ 4.6 การบรรจุสตรอเบอร์รี่ในภาดพลาสติก
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

4.1.2.11 การแช่เย็น

ผักและผลไม้ที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ มาแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะที่เหมาะสมช่วยชะลอการหายใจลดการทำงานของเอนไซม์ ตลอดจนกระบวนการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดได้ การแช่เย็นผักและผลไม้สดแต่ละชนิดใช้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอายุการเก็บรักษาแตกต่างกัน การแช่เย็นผักและผลไม้นิยมใช้อุณหภูมิประมาณ 0 – 15 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้โดยผักประเภทใบส่วนใหญ่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 – 5 องศาเซลเซียส ยกเว้นมะเขือเทศดิบต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่าคือ 13 – 21 องศาเซลเซียส ส่วนมะเขือเทศสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 – 10 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า ถั่วลันเตาทุกสายพันธุ์ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 13 – 14 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันเปลือกถั่วลันเตามีสีดำ ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้เก็บรักษาผักและผลไม้ให้สูงกว่าร้อยละ 65

4.1.3 ปัญหาของผักและผลไม้ที่แช่เย็น

ผักและผลไม้หลายชนิดที่ปลูกในเขตพื้นที่อากาศร้อนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไปส่วนใหญ่เกิดอาการผิดปกติทั้งรอยบวมและแผลสีน้ำตาลซึ่งลักษณะดังกล่าวเรียกว่าอาการสะท้อนหนาวสามารถป้องกันได้หลายวิธี เช่น การลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ การเคลือบผิวและการปรับสภาพบรรยากาศ เป็นต้น

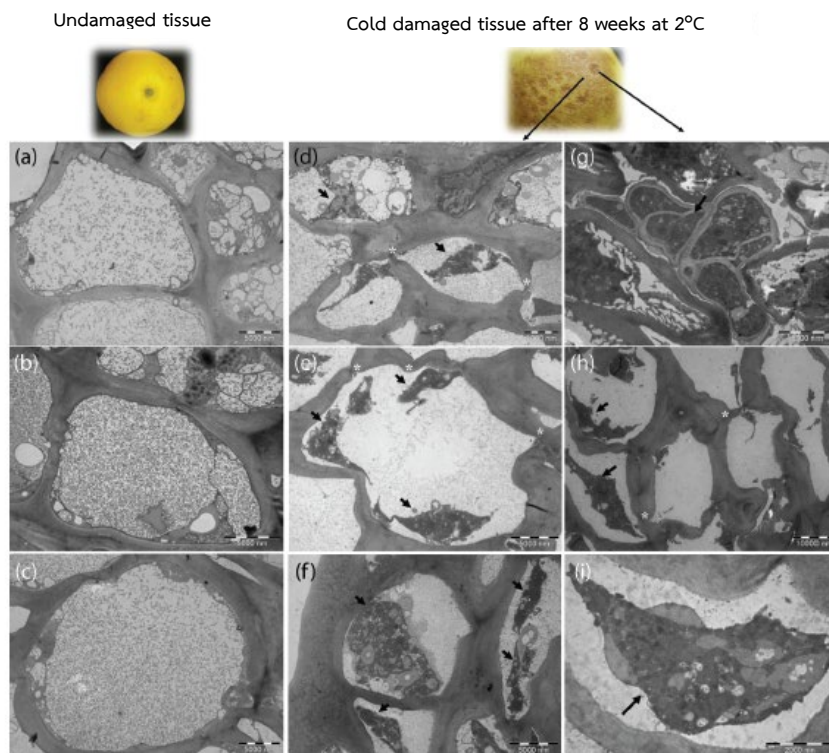
4.1.3.1 อาการสะท้อนหนาว (chilling injury)

อาการสะท้อนหนาว หมายถึง การที่พืชแสดงอาการผิดปกติเมื่อสัมผัสอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง (จริงแท้, 2549) โดยแสดงอาการเมื่อเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 – 15 องศาเซลเซียส และพืชเมืองหนาวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 – 2 องศาเซลเซียส ลักษณะของอาการสะท้อนหนาวที่เกิดขึ้นมีหลายลักษณะเช่น ผิวของผลิตผลเกิดรอย แผลสีน้ำตาลหรือดำและอาจมีรอยบวมลงไปด้วยเนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตายไป ผลอาจไม่สุกแต่ไม่แสดงอาการอื่น ๆ ให้เห็น เนื้อภายในอาจตายและเกิดรอยแผลสีน้ำตาลขึ้นและอาจมีการสะสมแอลกอฮอล์และอะซิตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ขึ้นภายในเนื้อทำให้รสชาติของผลิตผลผิดปกติไปดังตัวอย่างของผักและผลไม้ที่เกิดอาการสะท้อนหนาว (ภาพที่ 4.7) พืชตระกูลส้ม มะนาว ส้มโอ ลักษณะอาการสะท้อนหนาวเกิดขึ้นจากรอยบวมสีน้ำตาลเล็กๆ จากนั้นขยายจนตรอยแผลสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นจนเต็มทั้งผล ส่วนผลแดงกว่าอาการสะท้อนหนาวมีลักษณะเป็นรอยบวม ผิวขรุขระทั้งผล ในขณะที่มะเขือม่วงเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้อนหนาวที่เมล็ดมีสีน้ำตาลและเนื้อใกล้เมล็ด เมื่อเทียบกับการเก็บรักษามะเขือม่วงที่ 10 องศาเซลเซียส ที่ไม่เกิดอาการสะท้อนหนาว

สาเหตุของอาการสะท้อนหนาว สันนิษฐานว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์บางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไปส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ขั้นแต่ส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด ผลิตผลในเขตร้อนเกิดการสะท้อนหนาวที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งจึงไม่สามารถเก็บรักษาผลิตผลเขตร้อนได้นานเท่ากับผลิตผลในเขตหนาว สำหรับในผลเกรฟฟรุสที่เกิดอาการสะท้อนหนาว เมื่อสังเกตจากลักษณะโครงสร้างปกติพบว่าเซลล์ยังคงมีความสมบูรณ์ ในขณะที่เซลล์อพิเดอมอลของผลเกรฟฟรุสพันธุ์ Marsh เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เนื้อเยื่อเกิดจุดสีน้ำตาล (d, e, f) และเซลล์ด้านในสีน้ำตาลที่เกิดอาการสะท้อนหนาว (g, h, i) (Lado และคณะ, 2019) (ภาพที่ 4.8)



ภาพที่ 4.7 ลักษณะอาการสะท้อนหนาวในผลส้ม แดงกวา มะเขือม่วง และกล้วยหอม
ที่มา: Lado และคณะ (2019)



ภาพที่ 4.8 ลักษณะโครงสร้างปกติและอาการสะท้อนหนาวในเซลล์อีพิเดอมอลของผลเกรฟฟรุส พันธุ์ ‘Marsh’ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เนื้อเยื่อเกิดจุดสีน้ำตาล (d, e, f) และ เซลล์ด้านในสีน้ำตาลที่เกิดอาการสะท้อนหนาว (g, h, i)
ที่มา: Lado และคณะ (2019)

4.1.3.2 การป้องกันอาการสะท้อนหนาว

1) การลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ ให้พืชมีเวลาในการปรับตัวแทนที่การลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ผล loquat มีอาการสะท้อนหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้การปรับสภาพอุณหภูมิต่ำ (low temperature conditioning; LTC) ด้วยการนำผลไม้ loquat มาปรับสภาพด้วยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วันก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นานถึง 54 วัน เปรียบเทียบกับผลไม้ในชุดควบคุมที่เก็บไว้ที่ 0 องศาเซลเซียส แสดงอาการรุนแรงในการสะสมลิกนินที่ผนังเซลล์ (lignification) และเนื้อเยื่อมีสี

น้ำตาล การเก็บรักษาผลไม้ด้วย LTC ช่วยลดอาการสะท้อนหนาวและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็นสองเท่าด้วยคุณภาพภายนอกและภายในที่ยอมรับได้ (Cai และคณะ, 2006)

2) การเก็บรักษาในอุณหภูมิที่สลับระหว่างอุณหภูมิที่เกิดอาการสะท้อนหนาวกับอุณหภูมิที่สูงกว่า การกระทำเช่นนี้สันนิษฐานว่าในขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการสะสมแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นพิษขึ้นในผลผลิตผลและทำให้เกิดอาการขึ้น แต่เมื่อย้ายไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นแอลกอฮอล์ระเหยไปทำให้ไม่เกิดอาการสะท้อนหนาว จากภาพที่ 4.9 แสดงใบกะเพราเก็บรักษาที่อุณหภูมิสลับจากอุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 วัน จากนั้นย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน ใบกะเพรายังคงความสดได้ 2 วัน และเกิดอาการเหี่ยวมากในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาโดยมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 17.73 มีค่า L^* (44.25) a^* (-5.77) b^* (31.96) คลอโรฟิลล์ (76.46 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม) เอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส (140.50 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน) เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (14.00 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน) Malondialdehyde (0.34 นาโนโมลต่อกรัมน้ำหนักสด) อัตราการร่วงไหล (ร้อยละ 38.66) อาการสะท้อนหนาว (1.33) และอาการเหี่ยวเท่ากับ 2.33 ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ดังนั้นการใช้อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้องจึงรักษาความสดของกะเพราได้ 6 วัน



วันที่ 0

วันที่ 2

วันที่ 4

วันที่ 6

ภาพที่ 4.9 ลักษณะของใบกะเพราจุ่มด้วยออกซาลิก 1 มิลลิโมลาร์ บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 วัน จากนั้นย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน

ที่มา: อินทิรา และคณะ (2564a)

3) การใช้สารเคลือบผิวบางชนิด ทั้งนี้ช่วยลดอาการสะท้อนหนาวได้เพราะองค์ประกอบของสารเคลือบผิวมีสารประเภทไขมัน ไขมันเหล่านี้สามารถแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ทำให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ และเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์เปลี่ยนแปลงไปทำให้ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น จากงานวิจัยการใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวในผลแตงกวาญี่ปุ่นเนื่องจากผลแตงกวาเกิดอาการสะท้อนหนาวได้ง่ายที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าจึงเป็นข้อจำกัดความสามารถในการเก็บรักษาและลดความชอบของผู้บริโภค การเคลือบด้วยไคโตซานเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการถนอมผลผลิตสดที่เน่าเสียง่ายโดยการเคลือบผิวผลแตงกวาด้วยไคโตซานร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 ก่อนการเก็บรักษาในตู้เย็นที่ 7 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 – 95 เป็นเวลา 12 วัน ซึ่งผลไม้ที่เคลือบด้วยไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอาการสะท้อนหนาวและลดการเพิ่มขึ้นของไขมัน peroxidation (ปริมาณ MDA) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.5 นอกจากนี้เมื่อแตงกวาญี่ปุ่นถูกเคลือบด้วยไคโตซานร้อยละ 0.5 สามารถเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวได้คุณภาพดีและชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเคลือบไคโตซานช่วยป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระซึ่งช่วยแก้ปัญหาระหว่างการเก็บรักษาแตงกวาในตู้เย็นได้ (Hashim และคณะ, 2017)

4) การปรับสภาพบรรยากาศ การปฏิบัติหลายอย่างทำให้องค์ประกอบของอากาศภายในผลเปลี่ยนแปลงไป เช่น การบรรจุหีบห่อ และการเคลือบผิวซึ่งการปฏิบัติดังกล่าวไปปิดหรือขัดขวางช่องทางการผ่านเข้าออกของอากาศระหว่างผลิตผลกับภายนอกทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในผลลดลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น สภาพดังกล่าวช่วยลดอาการสะท้อนหนาวได้ด้วย การเก็บรักษามะละกอบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงทั้ง 3 แบบ ได้แก่ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พิล์ม Pebax-C® และโพรพิลีน (PP) เพื่อสร้างบรรยากาศดัดแปลงรอบผลไม้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 7 หรือ 13 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 – 90 บรรจุภัณฑ์ของมะละกอในฟิล์ม LDPE หรือ Pebax-C® สามารถป้องกันการเกิดอาการสะท้อนหนาวที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน และมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในมะละกออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Singh และ Sudhakar Rao, 2005) นอกจากนี้ยังมีการใช้สภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการใช้สารช่วยป้องกันการเกิดอาการสะท้อนหนาวในใบโหระพาโดยการจุ่มใบโหระพาในกรดออกซาลิกหรือเมทิลจัสโมเนสความเข้มข้น 6 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 5 นาที บรรจุใส่ในถุงพาสติก

โพลีเอทิลีน และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน ซึ่งการจุ่มด้วย เมทิลจัสโมแนสให้ผลดีที่สุดในการลดอาการสะท้อนขาว รวมทั้งลดอาการเหี่ยวและการสูญเสีย น้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา (อินทิรา และคณะ, 2564b)

4.2 การแปรรูปผักและผลไม้เยือกแข็ง

4.2.1 หลักการแปรรูปผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง

การแปรรูปผักและผลไม้แช่เยือกแข็งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการเก็บรักษาและเพื่ออำนวยความสะดวกในการนำไปใช้งาน การเก็บรักษาความสดของผักและผลไม้เกิดจากการลดอุณหภูมิของ ผักและผลไม้ลงให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เพื่อหยุดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ลง รวมทั้งยังช่วย ชะลอการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ด้วย แต่การใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งนี้ ไม่ทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์เหมือนกับการใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นการเตรียมผักและผลไม้ก่อนการ แช่เยือกแข็งนั้นต้องมีขั้นตอนการทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ก่อนการแช่เยือกแข็งเป็นกรรมวิธีที่ นิยมมากเป็นอันดับสอง รองจากอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสภาพใกล้เคียงกับ อาหารสดมีอายุการเก็บรักษานาน อุตสาหกรรมผักและผลไม้แช่เยือกแข็งจึงเป็นที่นิยมเพื่อตอบสนอง การส่งออกไปขายต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ต้องเก็บรักษาในห้องเย็นหรือตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิต่ำเพื่อ รักษาคุณภาพให้ได้มาตรฐานทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่งที่สูง ผักและผลไม้ที่นิยมนำมาแช่เยือกแข็งในระดับอุตสาหกรรมมีหลาย ชนิดเช่น มันฝรั่ง ถั่วพุ่ม ข้าวโพดหวาน หน่อไม้ฝรั่ง แครอท เมล็ดถั่วลิ้นเต่า กระเจี๊ยบขาว หอมหัวใหญ่ สตอเบอร์รี่ องุ่น พลับ มังคุด เงาะ และทุเรียน เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบความนิยมของผู้บริโภคแล้วพบว่าผักแช่เยือกแข็งที่เป็นที่คุ้นเคยและยอมรับ มากกว่าผลไม้แช่เยือกแข็งทั้งนี้เป็นเพราะผู้บริโภคคุ้นเคยกับผักที่สูญเสียความสดเนื่องจากการหุงต้ม มากกว่าสภาพของผลไม้ที่สูญเสียความสดเนื่องจากในระหว่างการแปรรูปวัตถุดิบต้องถูกนำมอลวก ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งซึ่งมีผลต่อความสดและความกรอบของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง

4.2.2 วิธีการแปรรูปผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง

4.2.2.1 วัตถุดิบ

คุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้นไม่มีขั้นตอนใดที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจนทั้งในด้านรสชาติ กลิ่น หรือสีของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผักและผลไม้ที่นำมาแช่เยือกแข็งต้องมีคุณภาพที่เหมาะสม มีสัดส่วนระหว่างน้ำตาลกับกรดที่เหมาะสม หรือมีความแก่จัดถึงสุก เช่น ถั่วฝักต่าง ๆ ต้องมีความแก่อ่อนที่เหมาะสม ข้าวโพดหวานควรอยู่ในระยะที่เป็นน้ำนม (milky state) ทูเรียนควรเป็นทูเรียนแก่จัดเต็มที่แล้วเท่านั้น ถ้าเป็นทูเรียนหมอนทองและชะนีควรสุกภายใน 3 – 5 วันหลังเก็บเกี่ยวมาแล้ว ในกรณีวัตถุดิบเหลือค้างทำการแช่เยือกแข็งไม่ทันควรเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และให้รีบนำมาแช่เยือกแข็งให้เร็วที่สุด

4.2.2.2 การล้างทำความสะอาด

การทำความสะอาดเป็นขั้นตอนที่จำเป็นมากสำหรับผักและผลไม้เพื่อชะล้างฝุ่นดินโคลนทรายที่ติดมาจากแหล่งเพาะปลูกของผลิตผล นอกจากนี้ยังเป็นการล้างสารเคมีที่ตกค้างอยู่ด้วย เช่น ยาฆ่าแมลง เป็นต้น น้ำที่ใช้ล้างต้องสะอาดและควรล้างด้วยน้ำไหล

4.2.2.3 การชะลอหรือระงับเอนไซม์

การชะลอหรือระงับปฏิกิริยาของเอนไซม์ในผักและผลไม้ นิยมใช้ 2 วิธีคือ การใช้ความร้อนและการปรับค่าความเป็นกรดต่าง ในกรณีของผักแช่เยือกแข็งนิยมใช้ความร้อนในรูปของน้ำร้อนหรือไอน้ำเพื่อทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ ส่วนกรณีของผลไม้แช่เยือกแข็งนั้นไม่นิยมใช้ความร้อนเพราะทำให้สูญเสียความสดได้ง่ายและความร้อนทำให้เกิดรสสุก (cook flavor) ขึ้นในผลไม้ ดังนั้นจึงนิยมใช้วิธีการเติมกรดอินทรีย์เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างของผลไม้ลงเป็นการลดปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ได้ การชะลอหรือระงับเอนไซม์มี 2 วิธีดังนี้

1) การใช้ความร้อน ระยะเวลาการใช้ความร้อนเพื่อทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ในผักแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความแก่อ่อนของผัก ขนาดและรูปร่างของผัก เป็นต้น ระยะเวลาที่ให้ความร้อนควรสั้นที่สุดเพื่อป้องกันการนิ่ม และการเปลี่ยนสีของผัก ในการปฏิบัติจึงต้องหาเวลาที่เหมาะสมซึ่งทำได้โดยการตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสโดยยึดหลักการว่าเมื่อ ความร้อนสามารถทำลายเอนไซม์ตัวนี้ได้แล้ว เอนไซม์ตัวอื่นที่มีอยู่ในผักถูกทำลายไปด้วยเนื่องจากเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดีนั่นเองในการใช้

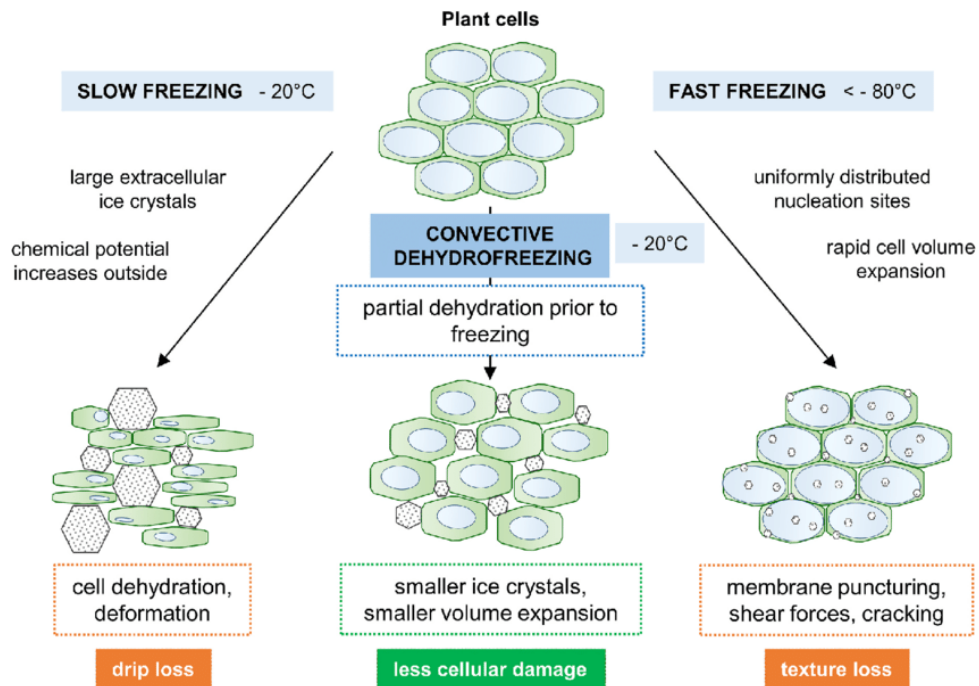
ความร้อนลวกผักนี้ ถ้าหากต้องการลดการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของผักก็อาจเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงในน้ำใช้ลวกเล็กน้อย และถ้าต้องการลดการนิ่มของผักก็อาจเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำร้อนที่ลวก และเมื่อทำลายเอนไซม์ได้ในระดับที่ต้องการแล้วต้องให้อุณหภูมิของผักลดลง (cooling) ทันที โดยนิยมแช่ในน้ำเย็นหรือใช้น้ำเย็นพ่นให้สัมผัสกับผัก

2) การปรับค่าความเป็นกรดต่าง เพื่อชะลอหรือระงับการทำงานของเอนไซม์ในผลไม้โดยทั่วไปนิยมใช้การลดค่าความเป็นกรด-ด่างของผลไม้ให้มีค่าระหว่าง 3 – 4 ซึ่งช่วยให้อัตราของกิจกรรมเอนไซม์ที่มีอยู่ช้าลงกว่าเดิม กรดอินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดซิตริก แต่สามารถใช้กรดอื่นได้ เช่น กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก เป็นต้น สำหรับผลไม้ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำมากตามธรรมชาติ การเติมกรดก็ไม่จำเป็นแต่อย่างใด ในทางตรงข้ามการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลงมากก็สามารถทำให้เกิดการตกสีของเอนไซม์ได้เช่นกัน การเติมกรดทำให้ผลไม้มีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้นจึงนิยมเติมน้ำตาลลงในผลไม้ควบคู่กับการเติมกรดทั้งนี้อาจเติมน้ำตาลทรายในลักษณะเป็นผลึกหรือน้ำเชื่อมก็ได้ ประโยชน์ของการเติมน้ำตาลนั้นนอกจากปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นแล้วยังช่วยลดปริมาณน้ำที่แข็งตัวจึงมีส่วนช่วยลดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของผลไม้ในขณะแช่เยือกแข็ง ช่วยควบคุมแรงดันออสโมซิสทำให้ผลไม้คงรูปร่างได้ดีขึ้น นอกจากนี้น้ำตาลทรายบางส่วนถูกไฮโดรไลซ์เปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์จึงสามารถช่วยรักษาสีของผลไม้ได้ดีอีกด้วย

4.2.2.4 การแช่เยือกแข็งเป็นหัวใจของการผลิต การแช่เยือกแข็งเป็นการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าระดับที่จุลินทรีย์เจริญหรือดำเนินกิจกรรมที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารได้ การแช่เยือกแข็งอาหารนิยมลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส และนิยมที่สุดคืออุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการตกผลึกของน้ำและสารละลายในอาหารจึงช่วยลดการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีได้เป็นอย่างมาก

โดยทั่วไปวิธีการแช่เยือกแข็งผักและผลไม้มี 2 แบบ แบบแรกคือการแช่แข็งแบบช้า (slow freezing) โดยใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งตั้งแต่ 3 ชั่วโมงขึ้นไปแต่ไม่เกิน 72 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิต่ำ -8 ถึง -20 องศาเซลเซียส (Petzold, 2009) ลักษณะการแช่แข็งแบบนี้ดำเนินไปอย่างช้าจากภายนอกเข้าไปสู่ภายในของผลิตภัณฑ์ น้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ (extracellular water) แข็งตัวเร็วกว่าน้ำที่อยู่ภายในเซลล์เนื่องจากน้ำภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายต่ำกว่าทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็ง การทำให้อาหารแข็งตัวอย่างช้า ๆ น้ำค่อย ๆ แยกตัวออกจากเซลล์กล้ำมเนื้อรวมตัวเป็น

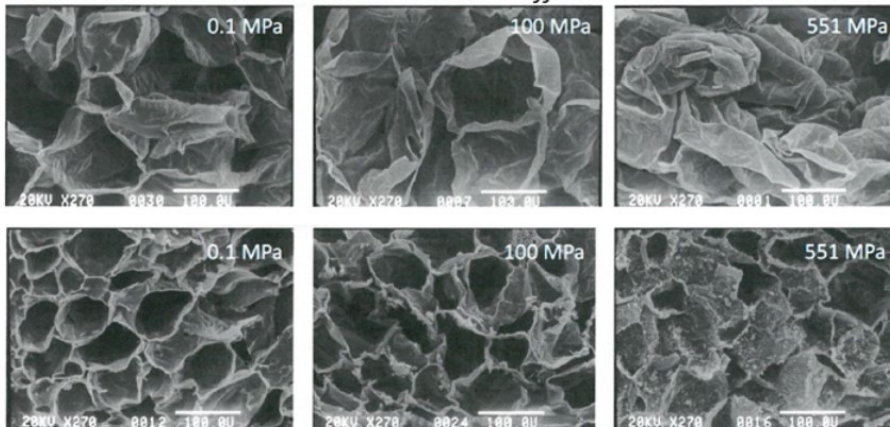
เกล็ดน้ำแข็ง น้ำแข็งเป็นผลึกใหญ่และมีขนาดไม่สม่ำเสมอและอยู่ระหว่างเซลล์ ในบริเวณที่มีน้ำอิสระมาก น้ำที่ขยายตัวเมื่อแข็งอาจดันให้เซลล์แตกได้ เมื่อนำเอาอาหารแช่แข็งประเภทนี้มาละลายน้ำไหลออกจากอาหาร ถ้าเซลล์แตกจำนวนมากสารอาหารต่าง ๆ ไหลออกมามาก รสชาติของอาหารจึงด้อยลงและมีลักษณะแข็ง (Ashrae, 1994) ส่วนแบบที่สองคือ การแช่แข็งแบบเร็ว (quick freezing) ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งภายใน 30 นาที หรือน้อยกว่า อุณหภูมิอาจอยู่ในระหว่าง -30 ถึง -50 องศาเซลเซียส (Petzold, 2009) การแช่แข็งแบบนี้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่แข็งนั้นลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เกล็ดน้ำแข็งขนาดเล็กเกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบทั่วเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกล็ดน้ำแข็งขนาดเล็กไม่สามารถเพิ่มขนาดขึ้นได้จึงได้น้ำแข็งขนาดเล็กที่มีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ภายในเซลล์เป็นส่วนใหญ่เมื่ออาหารแช่แข็งละลายเกล็ดน้ำแข็งผลึกเล็ก ๆ ย่อมละลายอย่างรวดเร็วและน้ำยังคงอยู่ภายในเซลล์จึงถูกดูดกลับเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของโปรตีนส่วนใหญ่ไม่ออกจากอาหารทำให้คุณค่าทางโภชนาการสูญเสียน้อย (Ashrae, 1994) ลักษณะของการแช่เยือกแข็งแบบเร็วและซ้ำดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 จากภาพเป็นการแช่แข็งแบบธรรมดา การแช่แข็งแบบซ้ำในระบบหมุนเวียน (convective dehydrofreezing) ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และการแช่แข็งแบบเร็ว (-80 องศาเซลเซียส) โดยทั่วไปแล้วการแช่แข็งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในโครงสร้างของเซลล์พืชโดยน้ำในแวคิวโอล (vacuole) ไซโตซอล (cytosolic) หรือน้ำนอกเซลล์ น้ำที่อยู่ในแวคิวโอลมีความสำคัญต่อการรักษาความดัน (turgor) ของเซลล์และแสดงถึงเนื้อสัมผัสและความกรอบของผลิตภัณฑ์ วิธีการแช่แข็งแบบธรรมดาก่อการคายน้ำ (cell dehydration, deformation) ทำให้สูญเสียน้ำหลังการละลาย (drip loss) ส่วนการแช่แข็งแบบหมุนเวียนเกล็ดน้ำแข็งมีขนาดเล็ก (smaller ice crystals) กระจายทั่วเซลล์ (smaller volume expansion) เซลล์เกิดความเสียหายน้อย (less cellular damage) ในขณะที่การแช่แข็งแบบเร็วตำแหน่งของนิวเคลียสกระจายอย่างสม่ำเสมอ (uniformly distributed nucleation sites) ปริมาตรของเซลล์ขยายอย่างรวดเร็ว (rapid cell volume expansion) ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็งแบบเร็วนี้เกิดการแตก (cracking) สูญเสียเนื้อสัมผัส (texture loss)



ภาพที่ 4.10 ลักษณะของการแช่เยือกแข็งแบบเร็วและช้า

ที่มา: Schudel และคณะ (2021)

Slow Frozen- Thawed Cranberries Under Different Pressure Conditions



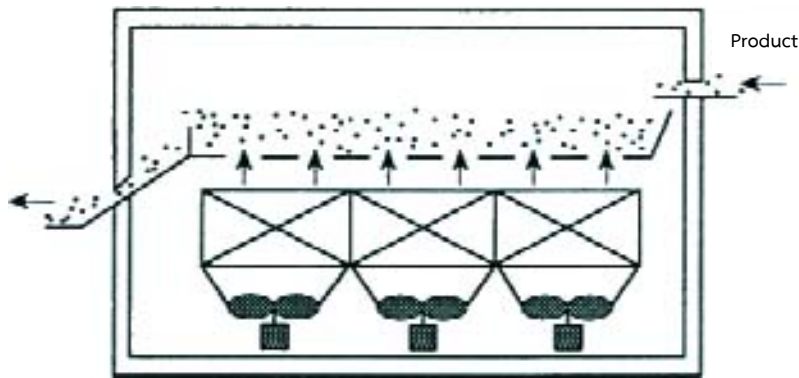
Fast Frozen- Thawed Cranberries Under Different Pressure Conditions

ภาพที่ 4.11 โครงสร้างของแคนเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้า และเร็ว

ที่มา: Mahadevan และคณะ (2016)

ผักและผลไม้นิยมการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่สามารถถ่ายเทความร้อนจากอาหารไปยังสารให้ความเย็นที่มีในอุปกรณ์นั้น ๆ สารให้ความเย็นที่ใช้ในอุปกรณ์แช่เยือกแข็งที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น แอมโมเนีย รีฟิเจอร์เรนท์ (refrigerant; R) ต่าง ๆ เช่น R-12 และ R-22 เป็นต้น จึงทำให้แบ่งวิธีการแช่เยือกแข็งเป็น 3 วิธีหลัก คือการแช่เยือกแข็งด้วยอากาศ (air blast freezer) การแช่เยือกแข็งโดยใช้แผ่นโลหะเย็น (contact plate freezer) และการแช่เยือกแข็งโดยใช้สารไครโอเจนิก (cryogenic freezer) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การแช่เยือกแข็งด้วยอากาศ นิยมใช้กับอาหารที่ผ่านการบรรจุหีบห่อแล้ว โดยการใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิ -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส หมุนเวียนผ่านอาหารภายในห้องแช่เยือกแข็ง อาหารถูกจัดเรียงไว้บนถาดหรือวางบนสายพานโปร่งแสงที่เคลื่อนที่ผ่านห้องแช่เยือกแข็งนี้ ส่วนมากอาหารเคลื่อนที่ผ่านห้องนี้สวนทางกับอากาศเย็นที่มีอุณหภูมิ -29 องศาเซลเซียส การแช่เยือกแข็งด้วยอากาศวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมมากได้แก่ การแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized bed freezer) วิธีการนี้นิยมใช้กับผักหรือผลไม้ที่มีขนาดเล็ก เช่น เมล็ดถั่วลิสง เมล็ดข้าวโพด ชันแครอท สตอเบอร์รี่ และถั่วพุ่มหั่นเป็นท่อน เป็นต้น โดยการผ่านชั้นผลิตภัณฑ์บนสายพานโปร่งแล้วพ่นหรือเป่าอากาศเย็นจากใต้สายพานขึ้นไปให้สัมผัสกับชั้นผลิตภัณฑ์ด้วยอัตราเร็วที่สามารถทำให้ชั้นผลิตภัณฑ์ลอยขึ้นได้ (ภาพที่ 4.12) จนมองดูคล้ายกับของเหลวที่กำลังเดือด โดยอากาศที่ใช้มีอุณหภูมิ -34 องศาเซลเซียส และมีอัตราเร็ว 375 ฟุตต่อนาที่ซึ่งการแช่เยือกแข็งวิธีนี้มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งสูงและทำให้ชั้นผลิตภัณฑ์เกิดสภาพแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (individual quick freezer, I.Q.F.) ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์โดยรอบมีผลึกน้ำแข็งเกาะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากอาหารและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้



ภาพที่ 4.12 การแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ที่มา: Saravacos และ Kostaropoulos (2002)

2) การแช่เยือกแข็งโดยใช้แผ่นโลหะเย็น เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งอาหารที่ผ่านการบรรจุหีบห่อแล้ววางบนแผ่นโลหะเย็นหรืออัดอยู่ระหว่างแผ่นโลหะเย็นทั้ง 2 สำหรับอาหารที่มีขนาดเล็กหรือเป็นของเหลว (ภาพที่ 4.13) อาจใช้วิธีใส่ลงในถังโลหะเย็นที่เคลื่อนที่ช้าเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหารจนทำให้แข็งตัวในที่สุด วิธีนี้พบว่าสามารถถ่ายเทความร้อนได้ค่อนข้างดีเพราะอาหารสัมผัสแหล่งความเย็นโดยตรงเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนจึงอาจมีประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้อากาศเย็นเล็กน้อยสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากอาหารได้ดีเพราะไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ การใช้วิธีนี้ในการแช่เยือกแข็งอาหารให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอาหารต้องมีความสม่ำเสมอกันเท่านั้น



ภาพที่ 4.13 การแช่แข็งด้วยแผ่นโลหะ

ที่มา: <https://www.fao.org/3/y5979e/y5979e0b.jpg>, Retrieved June, 2019

3) การแช่เยือกแข็งโดยใช้สารโครโอจินิก เป็นวิธีที่มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งเร็วมากสามารถทำได้กับอาหารที่ผ่านหรือไม่ผ่านการบรรจุหีบห่อก็ได้โดยอาหารสัมผัสกับสารให้ความเย็นเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ เช่น ไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือ คาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น สารเหล่านี้มีจุดเดือดต่ำและมีค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูงเมื่อสารเหล่านี้สัมผัสกับอาหารดึงความร้อนจากอาหารเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว สารโครโอจินิกที่นิยมใช้มากคือ ไนโตรเจนเหลวโดยวางตัวอย่างอาหารบนสายพานแล้วเคลื่อนที่เข้าไปในอุโมงค์ที่บรรจุของอย่างดี ไนโตรเจนเหลวถูกพ่นลงบนอาหารจนอาหารนั้นแข็งตัวในที่สุด วิธีการนี้สูญเสียให้น้ำน้อยออกซิเจนถูกกำจัดออกจากอาหารได้ง่าย ในระหว่างการแช่เยือกแข็งเกิดความเสียหายเนื่องจากการแช่เยือกแข็งน้อยมากแต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง

4.2.2.5 การบรรจุหีบห่อ

การบรรจุหีบห่ออาหารแช่เยือกแข็งสามารถทำได้ทั้งก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมและวิธีการแช่เยือกแข็งที่ใช้ นอกจากความแข็งแรงทนทานต่ออุณหภูมิต่ำแล้ว

ภาชนะบรรจุต้องสามารถป้องกันการส่งผ่านไอน้ำและก๊าซได้เพราะอาหารแช่เยือกแข็งสูญเสียน้ำและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ วัสดุที่สามารถป้องกันการส่งผ่านก๊าซและไอน้ำมีหลายชนิด เช่น พลาสติกจำพวกซาแรน (saran) มิลาร์ (milar) พรีโอฟิล์ม (pliofilm) นอกจากนี้ยังอาจใช้กระป๋องที่ทำด้วยโลหะหรือกระดาศแข็งเคลือบไขด้านนอกและด้านในลามิเนตด้วยพลาสติกหรืออลูมิเนียมเพื่อลดการส่งผ่านของก๊าซและไอน้ำ

4.2.2.6 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง

หลังการบรรจุหีบห่อแล้วผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็งถูกเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำโดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็งที่ -18 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็งส่วนใหญ่ไว้ได้ประมาณ 1 ปีโดยเฉลี่ยโดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นที่ยอมรับได้ ในขณะวางจำหน่ายผักและผลไม้แช่เยือกแข็งยังคงต้องวางจำหน่ายในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิต่ำเพื่อคงคุณภาพไว้ให้นานที่สุด (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 การวางจำหน่ายผักแช่เยือกแข็งในตู้แช่
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

4.3 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ในระหว่างการผลิต

4.3.1 การใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนในการระงับหรือยับยั้งเอนไซม์ในผักและผลไม้โดยการลวกหรือการต้มซึ่งความร้อนมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส กลิ่น รส และสี เป็นต้น

4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

ในระหว่างการให้ความร้อนแก่ผักและผลไม้ทำให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อของพืช ส่งผลให้สารสามารถผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้ง่ายขึ้นทำให้เซลล์สูญเสียความเต่ง ผักและผลไม้ไม่กรอบทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป เซลลูโลสถูกทำลายเพียงเล็กน้อย การให้ความร้อนโดยการนึ่งส่งผลให้ผนังเซลล์บางลงทั้งนี้สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลลูโลส การเติมแอมโมเนียและโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำต้มผักทำให้เซลลูโลสสลายตัวผักนุ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและอาจถึงละลายได้ การเติมกรดเช่นกรดน้ำส้มให้ผลในทางตรงกันข้ามคือทำให้ผักแข็งขึ้นและต้องใช้เวลากินมากกว่าปกติจึงนุ่ม การเปลี่ยนแปลงของสารจำพวกเพกทินโดยใช้ความร้อนมีผลทำให้ผักและผลไม้นุ่มขึ้น การนึ่งผักทำให้สารจำพวกเพกทินทั้งหมดลดลง โปรโตเพกทินสลายตัวให้เพกทินและเกลือเพกเทตเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ผักนุ่มขึ้น การเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงในน้ำต้มทำให้เกิดการแตกหักของโซโพลีกลาแลกทูโรน่มากซึ่งทำให้ผักนุ่มขึ้น การต้มผักในน้ำกระด้างทำให้ผักมีเนื้อแน่นเพราะแคลเซียมในน้ำกระด้างรวมกับกรดเพกติกให้แคลเซียมเพกเทตซึ่งไม่ละลายน้ำ แคลเซียมที่เกิดขึ้นทำให้เซลลูโลสคงตัว ดังนั้นการแช่ผักในน้ำปูนใสผักจึงกรอบน่ารับประทาน ในทางอุตสาหกรรมอาหารใช้แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.07 แทนน้ำปูนใส ผลไม้ที่ต้มในน้ำเชื่อมมีเนื้อแน่นกว่าที่ต้มในน้ำธรรมดาทั้งนี้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงไปดึงน้ำออกจากผลไม้ส่งผลให้โพลีแซคคาไรด์ที่ผนังเซลล์อยู่ชิดกันมากขึ้นทำให้เกิดแรงกระทำต่อกันโดยพันธะไฮโดรเจนและแรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ (van der waals) ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์ การเกิดเจล (gelatinization) ของแป้งอาจมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผักบางชนิด เช่น พืชหัวต่าง ๆ การให้ความร้อนกับเนื้อเยื่อของผักเหล่านี้ไม่เป็นการต้ม การลวกหรือการนึ่งมีผลต่อปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อและต่อปริมาณการเกิดเจลตลอดจนเนื้อสัมผัส

4.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส

การให้ความร้อนแก่ผักและผลไม้มีผลทำให้สารประกอบที่ระเหยได้ในผักและผลไม้ระเหยหรือถูกทำลายไป ผักตระกูลกะหล่ำและหัวหอมสูญเสียสารที่ให้กลิ่นรสไปบางส่วนโดยการระเหยและการสลายตัว เมื่อต้มกะหล่ำปลีและข้าวโพดเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารระเหยอื่น ๆ ทำให้เกิดกลิ่นสุก สารระเหยที่อยู่ในเนื้อเยื่อผักและผลไม้ เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน เอสเทอร์ และกรด อาจเกิดการออกซิเดชันและถูกไฮโดรไลสระหว่างการให้ความร้อนได้ การทำลายเอนไซม์ได้ไม่หมด อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผักและผลไม้ในระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดี เช่น เพอร์ออกซิเดสอาจทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาในผักและผลไม้ได้

4.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงสี

ในระหว่างการให้ความร้อนแก่ผักและผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังอาจเกิดสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reactions) ทำให้เกิดสารสีเข้มในผลิตภัณฑ์จากสภาวะต่าง ๆ เช่น ความร้อน ความเป็นกรด-ด่างสูงซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้

4.3.1.4 การสูญเสียวิตามิน

ผักและผลไม้เป็นแหล่งของวิตามินโดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิก ความร้อนสามารถทำให้กรดแอสคอร์บิกและไรโบฟลาวินสลายตัว กรดแอสคอร์บิกและไรโบฟลาวินไม่อยู่ตัวที่ความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกลางหรือสูงกว่า การสูญเสียของกรดแอสคอร์บิกในช่วงแรก ๆ เกิดจากการถูกออกซิไดส์โดยมีเอนไซม์อยู่ ช่วงหลังของการให้ความร้อนเอนไซม์ถูกทำลายไป การสูญเสียในช่วงนี้เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกเอง การต้มผักหรือผลไม้สูญเสียกรดแอสคอร์บิกได้มากกว่าการนึ่ง

4.3.2 การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ช้าลง การแช่เยือกแข็งที่ทำอย่างถูกต้องและเหมาะสมสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้แต่เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้มักเสียหายจึงต้องมีการใช้ความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งเพราะเอนไซม์อาจทำให้คุณภาพทั้งหมดของผักและผลไม้เสื่อมไปได้

4.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

การแช่เยือกแข็งทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้เปลี่ยนแปลง ผลไม้และผักมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการฉีกขาดหรือการทำลายเซลล์โดยผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น การแช่เยือกแข็งแบบเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำแข็งแล้วมีเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติการอุ้มน้ำดีกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้าซึ่งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ สำหรับองค์ประกอบของผนังเซลล์ไม่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยการแช่เยือกแข็ง

4.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงสี

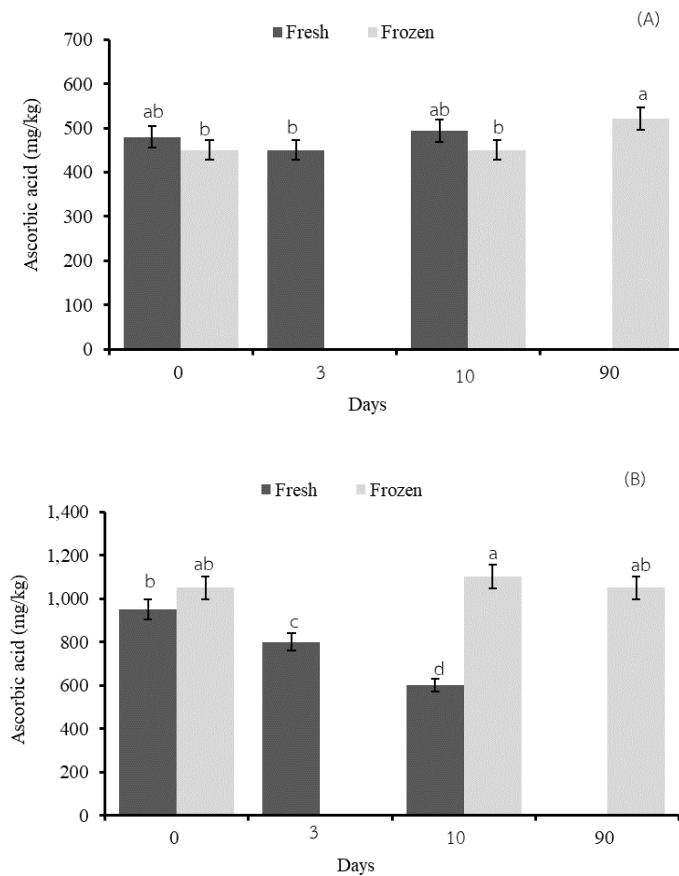
การแตกสลายของสารสีไม่เกิดขึ้นถ้าหากให้ความร้อนในการทำละลายเอนไซม์ในผักและผลไม้ตั้งแต่แรก เอนไซม์บางชนิด เช่น ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) แอนโทไซยานเนส (anthocyanase) และโพลีฟีนอลออกซิเดสต้องทำลายให้หมดไปเพื่อป้องกันการทำลายสารสีโดยเอนไซม์เหล่านี้ สิ่งที่เกิดปฏิกิริยาเช่นการเกิดสีน้ำตาลในสตรอเบอร์รี่ที่ละลายน้ำแข็งแล้วอาจเกิดจากสารเชิงซ้อนระหว่างโลหะและสารสี (metal-pigment complexes) ในเซลล์ที่ฉีกขาดเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง

4.3.2.3 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส

ผักและผลไม้แช่เยือกแข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสหลังจากการเก็บไว้นานอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดขึ้นช้าในอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บผักแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้นานอาจมีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา เนื่องจากเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสและไลพอกซีจีเนส

4.3.2.4 การสูญเสียวิตามิน

การแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียวมีผลน้อยมากต่อการสูญเสียวิตามินแต่การละลายน้ำแข็งกลับส่งผลให้วิตามินบางส่วนที่ละลายน้ำสูญเสียไปโดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิกซึ่งมีปริมาณลดลงอย่างมากถ้าเก็บผักและผลไม้แช่เยือกแข็งไว้นาน ๆ นอกจากนี้ยังเกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องด้วยหรือเกิดจากปฏิกิริยาที่มีโลหะเป็นตัวเร่ง เป็นต้น วิตามินที่มักมีการสูญเสียในอาหารแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา เช่น วิตามินซี ปี 1 และปี 2 เป็นต้น โดยจากภาพที่ 4.15 แสดงการสูญเสียวิตามินซีในสตรอเบอร์รี่และถั่วลันเตาที่แช่เยือกแข็งมีปริมาณน้อยกว่าผลสด



ภาพที่ 4.15 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของสตรอเบอร์รี่ (A) และแก้วลันเตา (B) ระหว่างการเก็บรักษา 90 วัน

ที่มา: Bouzari และคณะ (2015)

4.4 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง

ผักและผลไม้แช่เยือกแข็งมีการตรวจสอบคุณภาพทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และจุลินทรีย์ ดังนี้

4.4.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

ผักและผลไม้แช่เยือกแข็งเกิดการสูญเสีย น้ำหลังการละลายน้ำแข็ง (drip loss) ซึ่งการตรวจสอบสามารถทำได้ด้วยการนำตัวอย่างแช่เยือกแข็งออกมาบรรจุใส่ถุงซิปล็อคที่มีกระดาดหิซูด้านใน จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้แล้ว จากนั้นนำตัวอย่างไปละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างออกจากถุง บันทึกน้ำหนักถุงและกระดาดอีกครั้ง คำนวณการสูญเสีย น้ำหลังการละลายน้ำแข็งจากสมการ

$$\text{Drip loss (ร้อยละ)} = ((W_t - W_0) / W_s) \times 100$$

เมื่อ W_t คือ น้ำหนักถุงและหิซูลูกหลังละลายน้ำแข็ง

W_0 คือ น้ำหนักถุงและหิซูลูกก่อนละลายน้ำแข็ง

W_s คือน้ำหนักตัวอย่าง

การแช่เยือกแข็งผลแอปพริคอตญี่ปุ่นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีการสูญเสีย น้ำจากการละลายน้ำแข็งและโครงสร้างเนื้อเยื่อมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส (Chung และคณะ, 2013) เนื่องจากการแช่เยือกแข็งส่งผลให้เซลล์ถูกทำลาย และช่วยให้เกิดการแพร่ผ่านระหว่างน้ำแพร่ผ่านออกภายนอกเซลล์และปริมาณของแข็งหรือน้ำตาล เคลื่อนที่เข้ามาภายในเซลล์ได้ง่ายขึ้น (Alfaro และคณะ, 2018)

4.4.2 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังผ่านการแช่เยือกแข็งบ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์นั้นเกิดการเสื่อมเสีย จากปฏิกิริยาทางเคมีโดยจากการทดสอบปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาล ปริมาณเถ้า และกิจกรรมของเอนไซม์ ดังเช่นการเก็บรักษาขึ้นมะม่วงที่ผ่านการแช่เยือกแข็งระยะเวลา 2 เดือน ส่งผลให้ค่าสี ความสว่าง L^* มีค่าสูง ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลและค่ากิจกรรมเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส มีค่าต่ำโดยเฉพาะในขึ้นมะม่วงที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้า ส่วนผลของเนื้อสัมผัสของขึ้นมะม่วงที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 เดือนส่งผลให้ค่าความแข็งสูงที่สุด และปริมาณสารประกอบฟีนอล

ทั้งหมดมีค่าลดลงเมื่อทำการเก็บรักษาที่นานขึ้น (สุภาวดี, 2563) บร็อกโคลีลวกและแช่แข็งมีความสว่างและความแน่นลดลง การสูญเสียสารประกอบฟีนอลและกรดแอสคอร์บิกถึงประมาณร้อยละ 57 และ 30 ตามลำดับ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณใกล้เคียงกับบร็อกโคลีสดและแช่แข็ง ในส่วนของปริมาณกลูโคซิโนเลต (glucosinolates) ยังคงมีปริมาณคงที่ ดังนั้นการบริโภคบร็อกโคลีแช่แข็งจึงได้รับสารอาหารจำพวกสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินซี และกลูโคซิโนเลตใกล้เคียงผลผลิตสด (González-Hidalgo และคณะ, 2019)

4.4.3 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

การแช่เยือกแข็งทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นได้แต่นำผักและผลไม้มาละลายน้ำแข็งหรือในสภาวะการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุให้มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ การตรวจสอบอาหารแช่เยือกแข็งจึงตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total count) ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (yeast and mold count) และปริมาณโคลิฟอร์ม (coliform count) ผักมักปนเปื้อนกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหลากหลายชนิดมากับดิน ก่อนที่จะแช่แข็งผักได้มีการทำความสะอาดและล้างเพื่อกำจัดดิน ผักหลายชนิดถูกตัดแต่งและลวกเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในก่อนนำไปแช่แข็ง การปฏิบัติเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยา การแช่แข็งเป็นการลดความเสี่ยงและการเกิดโรคที่เกิดจากอาหารเนื่องจากเชื้อโรคไม่สามารถแพร่กระจายที่อุณหภูมิเยือกแข็งและจำเป็นต้องมีการปรุงอาหารก่อนการบริโภค แบคทีเรียกรดแลกติกมักจะมียูในจำนวนสูงสุดซึ่งสามารถอยู่ในช่วงระหว่าง 10^1 และ 10^5 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม การแช่แข็งและการละลายมีผลต่อการตายของจุลินทรีย์ (หรือการอยู่รอด) การแช่แข็งอย่างรวดเร็วและการละลายช้าอาจฆ่าแบคทีเรียได้มากกว่าการแช่แข็งช้าและการละลายอย่างรวดเร็วมีเพียงแบคทีเรียบางชนิดเท่านั้นที่ถูกฆ่าตาย ในขณะที่แบคทีเรียบางชนิดอาจได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดความเสี่ยงที่เป็นไปได้ในการปนเปื้อนระหว่างการลวกและการแช่แข็ง เชื้อโรคที่เกี่ยวข้องกับผัก (สดและแช่แข็ง) คือ *Salmonella spp.*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* และ *Yersinia enterocolitica* ผักแช่แข็งที่ต้มหรือปรุงสุกโดยไม่ต้องละลายลดความเสี่ยงและมีความปลอดภัยจากเชื้อเหล่านี้ (Canet และÁlvarez, 2005)

4.4.9 การประเมินคุณภาพด้านด้านประสาทสัมผัส

ผักและผลไม้ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมีลักษณะนุ่ม เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มและมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนการแช่เยือกแข็ง การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้งลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมเป็นเกณฑ์ในการยอมรับจากผู้บริโภค ตัวอย่างถั่วลันเตาแช่เยือกแข็งที่ทำการลวกที่อุณหภูมิสูงเวลาสั้นและนำไปแช่เยือกแข็งที่ -18 องศาเซลเซียส ทันที การประเมินลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยสเกลแบบ 9 ระดับคะแนน (nine-point hedonic scale) พบว่าการใช้อุณหภูมิสูง 85-98 องศาเซลเซียส เวลาสั้น 3 นาที ส่งผลให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสของถั่วลันเตาดีขึ้นโดยเฉพาะสีและกลิ่นของถั่วลันเตา (Hassan และ Joshi, 2019)

4.5 บทสรุป

การแปรรูปผักและผลไม้โดยใช้อุณหภูมิต่ำแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะได้แก่ การแช่เย็น และการแช่เยือกแข็งซึ่งขั้นตอนการแปรรูปมีลักษณะเหมือนกันโดยขั้นแรกคือการวัตถุดิบ คัดเลือก ทำความสะอาด ทำให้ผิวนอกแห้งหรือบางชนิดต้องนำไปปรับสภาพผิวภายนอกก่อน เช่น มันเทศ มันฝรั่ง และเผือก เป็นต้น จากนั้นนำไปตัดแต่ง คัดขนาด เคลือบผิวเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำหนัก บรรจุหีบห่อและนำไปแช่เย็นเพื่อรอจำหน่ายซึ่งในขณะที่ยังเก็บรักษาอาจมีปัญหากเกิดขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจนเกิดอาการสะท้านหนาวมีลักษณะผิวภายนอกยุบตัวเป็นรอยบวมและมีแผลสีน้ำตาล วิธีการป้องกันอาการสะท้านหนาวโดยการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ ให้พืชได้มีเวลาในการปรับตัว การใช้สารเคลือบผิวและการปรับสภาพบรรยากาศ เป็นต้น ขั้นตอนในการแช่เยือกแข็งนั้นแตกต่างจากการแช่เย็นโดยหลังจากทำความสะอาดผลผลิตแล้วมีการใช้ความร้อนหรือการปรับค่าความเป็นกรดต่าง เพื่อชะลอหรือระงับเอนไซม์ การแช่เยือกแข็งมี 2 แบบ คือการแช่เยือกแข็งแบบช้า และการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว การเก็บรักษาลักษณะที่ผ่านการแช่เยือกแข็งใช้อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส ซึ่งเก็บรักษาได้นาน 1 ปี ในระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส สี กลิ่นรส และการสูญเสียวิตามินเกิดขึ้น การตรวจสอบคุณภาพของผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาล ถ้า กิจกรรมเอนไซม์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส เป็นต้น

แบบฝึกหัด

1. อธิบายหลักการแปรรูปผักและผลไม้แช่เย็น
2. จงบอกสาเหตุของอาการสะท้านหนาวและวิธีการป้องกัน
3. วิธีการชะลอหรือระงับเอนไซม์ในขั้นตอนการแปรรูปผักและผลไม้แช่เยือกแข็งทำได้อย่างไร
4. การแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบเร็วแตกต่างกันอย่างไร
5. อธิบายการแช่เยือกแข็งส่งผลต่อคุณภาพของผักและผลไม้อย่างไร

เอกสารอ้างอิง

- จรัสแท้ ศิริพาณิชย์. (2549). *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช*. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- สุภาวดี สมคะเน. (2563). *การศึกษาอิทธิพลของการแช่เยือกแข็งต่อกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติกและคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. <http://itthesis-ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3400/1/60403212.pdf>
- อินทรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, และอัญชลินทร์ สิงห์คำ. (2561b). ผลของการเคลือบผิวด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตนาโนพาทิเคิลร่วมกับสารสกัดจากเปลือกลองกองต่อคุณภาพและการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 49(4)(พิเศษ), 66–69.
- อินทรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, และปาลิดา ตั้งอนุรัตน์. (2564a). *การใช้กรดออกซาลิกและเมทิลจัสโมเนตหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อลดอาการสะท้อนขาวในใบกะเพรา* (รายงานผลการวิจัย). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- อินทรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, และปาลิดา ตั้งอนุรัตน์. (2564b). ผลของกรดออกซาลิกและเมทิลจัสโมเนตต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของใบโหระพาระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 52(2)(พิเศษ), 111–114.
- Alfaro, L., Siramard, S., Chouljenko, A., & Sathivel, S. (2018). Effects of liquid nitrogen pretreatment on the osmotic dehydration and quality of cryogenically frozen blueberries (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Food Bioscience*, 22, 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.006>
- Ashrae, (1994). *Handbook of refrigeration*. SI version. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Bouzari, A., Holstege, D., & Barrett, D.M. (2015). Vitamin retention in eight fruits and vegetables: A comparison of refrigerated and frozen storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 957–962.

- Cai, C., Xu, C.J., Shan, L.L., Li, X., Zhou, C.H., Zhang, W.S., Ferguson, I., & Chen, K.S. (2006). Low temperature conditioning reduces postharvest chilling injury in loquat fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 252–259.
- Canet, W., & Alvarez-Torres, M.D. (2005) Quality and safety of frozen vegetables. In D.W Sun (Eds.), *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging* (2nd ed., pp. 377–410). Taylor and Francis.
- Chung, H.S., Kim, D.S., Kim, H.S., Lee, Y.G., & Seong, J.H. (2013). Effect of freezing pretreatment on the quality of juice extracted from *Prunus mume* fruit by osmosis with sucrose. *LWT - Food Science and Technology*, 54(1), 30–34. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.016>
- González-Hidalgo, I., Moreno, D. A., García-Viguera, C., & Ros-García, J. M. (2019). Effect of industrial freezing on the physical and nutritional quality traits in broccoli. *Food Science and Technology International*, 25(1), 56–65. <https://doi.org/10.1177/1082013218795807>
- Hashim, N.F.A., Ahmad, A., & Bordoh, P.K. (2017). Effect of chitosan coating on chilling injury, antioxidant status and postharvest quality of Japanese cucumber during cold storage. *Sains Malaysiana*, 45, 287–294.
- Hassan, M. M., & Joshi, N. (2019). Hydrothermal effects on physicochemical, sensory attributes, vitamin C, and antioxidant activity of frozen immature *Dolichos lablab*. *Heliyon*, 6(1), e03136. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03136>
- Lado, J., Cronje, P.J.R., Rodrigo, M.J., & Zacarias, L. (2019). Citrus, In S.T.D.F.S. Perik (ed.). *Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables* (pp. 324–325). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22001>.
- Mahadevan, S., Salvi, D., & Karwe, M.V. (2016). High pressure-enhanced infusion in fresh and frozen-Thawed cranberries: a comparative study. *Journal of Food Process Engineering*, 39, 53–60.

- Mayuoni, L., Sharabi-Schwager, M., Feldmesser, E., & Porat, R. (2011). Effects of ethylene degreening on the transcriptome of mandarin flesh. *Postharvest Biology and Technology*, 60, 75–82.
- Petzold, G., & Aguilera, J.M. (2009). Ice morphology: fundamentals and technological applications in foods. *Food Biophysics*, 4(4), 378–396.
- Saravacos, G.D., & Kostaropoulos, A.E. (2002). *Handbook of Food Processing Equipment*. <http://blog.ub.ac.id/nizarkvn/files/2016/09/Handbook-of-Food-Processing-Equipment.pdf>
- Schudel, S., Prawiranto, K., & Defraeye, T. (2021). Comparison of freezing and convective dehydrofreezing of vegetables for reducing cell damage. *Journal of Food Engineering*, 293(110376), 1-12.
- Singh, S.P., & Sudhakar Rao, D.V. (2005). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the alleviation of chilling injury and dietary antioxidants levels in 'Solo' papaya during low temperature storage. *European Journal of Horticultural Science*, 70(5), 246–252.

บทที่ 5 การแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท

การแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิทหมายถึงอาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลังหรือก่อนการบรรจุหรือปิดผนึกซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เป็นโลหะหรือวัตถุอื่นคงรูปที่สามารถป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุได้และสามารถเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติ ภาชนะบรรจุที่ใช้ นอกจากการระบองโลหะที่นิยมนำมาบรรจุผักและผลไม้กระป๋องแล้วยังนิยมใช้ภาชนะบรรจุชนิดลามิเนตที่ทนต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงได้ อีกทั้งสามารถป้องกันอากาศซึมผ่านเข้าภายในภาชนะบรรจุได้ในภาวะปกติและสามารถเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติ

5.1 หลักการการแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท

อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท หมายถึง อาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลังหรือก่อนการบรรจุหรือปิดผนึกซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่เป็นโลหะหรือวัตถุอื่นที่คงรูปที่สามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุได้และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติหรืออาหารในภาชนะบรรจุชนิดลามิเนต (laminates) ฉาบ เคลือบ อัด หรือติดด้วยโลหะ หรือสิ่งอื่นใด หรืออาหารในภาชนะบรรจุที่เป็นขวดแก้วที่ฝามียางหรือวัสดุอื่นผนึกหรืออาหารในภาชนะบรรจุอื่นซึ่งสามารถป้องกันมิให้ความชื้นหรืออากาศผ่านซึมเข้าภายในภาชนะบรรจุได้ในภาวะปกติ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2556) การเก็บรักษาอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทเป็นวิธีการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานถึงสองปี โดยอาศัยหลักการบรรจุผักและผลไม้ในภาชนะที่ปิดสนิทโดยที่คุณภาพของอาหารต้องไม่มีสี กลิ่น หรือรส ที่ผิดจากสภาพของอาหารนั้น ปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคไม่เกินตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ไม่มีสารพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และไม่มีสารปนเปื้อนจากภาชนะบรรจุที่เป็นโลหะ ดิบุกเกินมาตรฐาน เป็นต้น ตัวอย่างภาชนะบรรจุปิดสนิท เช่น กระป๋องโลหะ ขวดแก้ว หรือถุงแบบพิเศษ (retort pouch) (ภาพที่ 5.1) ความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อภาชนะบรรจุปิดสนิทอยู่ในระดับที่สามารถทำลาย

เชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ก่อให้เกิดโรคและก่อให้เกิดการเสื่อมเสียโดยการให้ความร้อนแก่อาหารภายในภาชนะปิดสนิทต้องเพียงพอสำหรับการทำลายสปอร์ของแบคทีเรียที่ชอบเจริญในสภาวะอุณหภูมิสูงแต่การใช้ความร้อนระดับสูงส่งผลให้คุณภาพของผักและผลไม้ด้อยลงทั้งด้านสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ดังนั้นจึงต้องคำนวณระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้



ภาพที่ 5.1 ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

5.2 ขั้นตอนการแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท

การผลิตผักและผลไม้กระป๋องเริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การลวกด้วยน้ำร้อน การบรรจุ การไล่อากาศ การปิดผนึก การใช้ความร้อน การใช้น้ำเย็น การติดฉลาก การเก็บรักษา และการขนส่ง ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำผักและผลไม้มาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอมออกแล้วทำการคัดขนาด การแยกความแก่อ่อนเพื่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์และปอกเปลือก การ

ตัดแต่งแยกส่วนที่ไม่ต้องการออก ผักบางชนิดต้องคัดความยาวให้ใกล้เคียงกันเพื่อสะดวกในการบรรจุ เช่น ข้าวโพดฝักอ่อน กระเจี๊ยบเขียว และบางชนิดต้องมีการลดขนาด (หั่นหรืออบ) เช่น พริกหวาน แครอท มะละกอ และสับปะรด เป็นต้น ผลส้มที่เก็บเกี่ยวจากแปลงปลูกถูกลำเลียงตามสายพานเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดและเคลือบผิว จากนั้นผลส้มถูกคัดแยกขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดและมีคนงานคอยหยิบผลส้มเรียงบรรจุใส่กล่องกระดาษดังภาพที่ 5.2

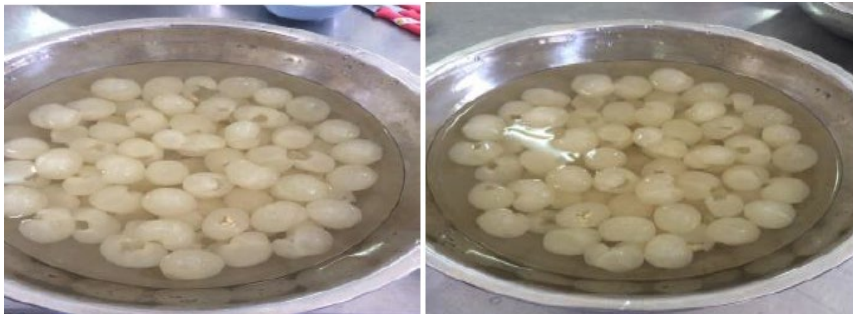


ภาพที่ 5.2 การคัดขนาดผลส้ม

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

5.2.2 การปรับปรุงคุณภาพก่อนการบรรจุ

ผลไม้ส่วนใหญ่มีการปรับปรุงคุณภาพก่อนการบรรจุ เช่น การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการแช่ วัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการเน่าและระหว่างการให้ความร้อนของการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และการแช่ในสารละลายกรด เช่น กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (ภาพที่ 5.3)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 5.3 การแช่ลำไยในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.3 นาน 10 นาที (ก) และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.7 นาน 30 นาที (ข)

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

จากตารางที่ 5.1 การใช้สารละลายแคลเซียมซิเตรทแช่ผลลองกองพร้อมบริโภครวมความเข้มข้นร้อยละ 0 1 และ 2 นาน 5 และ 10 นาที พบว่าการจุ่มผลลองกองพร้อมบริโภคในสารละลายแคลเซียมซิเตรทนาน 10 นาที การเกิดสีน้ำตาลมากกว่าการจุ่มสารละลายที่ 5 นาที อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการจุ่มและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมซิเตรทพบว่าเมื่อผลต่อการเกิดสีน้ำตาลตลอดอายุการเก็บรักษาโดยการจุ่มผลลองกองพร้อมบริโภคที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 1 และ 2 ระยะ 5 นาที มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าผลลองกองพร้อมบริโภคที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 1 และ 2 ระยะเวลา 10 นาที ทั้งนี้การใช้ระยะเวลาในการจุ่มนานอาจไปเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ตารางที่ 5.1 การเกิดสีน้ำตาลของของลองกองแปรรูปพร้อมบริโภคที่จุ่มแคลเซียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 0 1 และ 2 ระยะเวลา 5 และ 10 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง		การเกิดสีน้ำตาล (คะแนน)				
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
เวลา	สารละลาย แคลเซียมซิเตรท (ร้อยละ)	0	2	4	6	8
5 นาที		0	2.22	3.03 ^b	5.26	6.51
10 นาที		0	1.77	4.14 ^a	5.99	6.59
F-test		-	NS	**	NS	NS
	0	0	2.33	4.22	6.11	7.22
	1	0	2.00	3.33	5.33	6.66
	2	0	1.65	3.22	5.44	5.77
F-test		-	NS	NS	NS	NS
5 นาที	0	0	2.44	2.88 ^b	5.78	7.55
	1	0	1.33	2.66 ^b	4.89	6.22
	2	0	1.55	3.55 ^b	5.11	5.77
10 นาที	0	0	2.22	5.55 ^a	6.44	6.88
	1	0	2.66	4.00 ^b	5.77	7.11
	2	0	1.77	2.89 ^b	5.77	5.78
F-test		-	NS	**	NS	NS
C.V. (ร้อยละ)		-	36.88	20.49	19.93	16.07

หมายเหตุ พัยูชนะในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, ** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 99

ที่มา: อินทรา (2557)

การจุ่มผลไม้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มความกรอบและลดการเกิดสีน้ำตาลดังตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพของการจุ่มผล loquat พันธุ์ "Surkh" ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามความเข้มข้น (ร้อยละ 1 2 และ 3) เป็นเวลาสองนาที่และเก็บไว้ในกล่องกระดาษที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าการใช้แคลเซียมความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 รักษาความแน่นเนื้อได้และมีดัชนีสีน้ำตาลลดลงซึ่งแคลเซียมช่วยรักษาเสถียรภาพของเมมเบรนโดยแคลเซียมอาจเกิดการสะสมในผนังเซลล์เชื่อมโยงกับโพลิเมอร์ของเพกทินจึงเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์

ตารางที่ 5.2 ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อเนื้อสัมผัส และดัชนีสีน้ำตาลของ loquat

ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	เนื้อสัมผัส (Kgf)	ดัชนีสีน้ำตาล (ร้อยละ)
ชุดควบคุม	1.01 ^c	18.72 ^a
1	1.11 ^b	18.15 ^a
2	1.18 ^a	15.79 ^b
3	1.20 ^a	10.58 ^c

ที่มา: Akhtar และคณะ (2010)

5.2.3 การลวกด้วยน้ำร้อน (blanching)

ผลไม้ส่วนใหญ่ไม่ผ่านขั้นตอนการลวกด้วยน้ำร้อน แต่ผักต้องผ่านการลวกก่อนบรรจุกระป๋อง การลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ peroxidase (POD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อาจพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช เอนไซม์นี้มีความคงตัวทางความร้อนสูงและส่งผลกระทบต่อรสชาติ สี และคุณค่าทางโภชนาการที่ลดลง แต่เอนไซม์นี้ถูกยับยั้งเมื่อได้รับความร้อนจากการลวก (Derahman และคณะ, 2017) การลวกวัตถุดิบในขั้นตอนการแปรรูปยังช่วยกำจัดอากาศออกจากผิวหน้าวัตถุดิบทำให้วัตถุดิบหดตัวและนิ่มเพื่อสะดวกต่อการบรรจุและลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ การจุ่มวัตถุดิบลงในน้ำร้อนช่วงอุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ 70 – 100 องศาเซลเซียส มีสองวิธีคือการลวกที่อุณหภูมิต่ำ-เวลานาน (low temperature-long time; LTLT) และอุณหภูมิสูง-เวลาสั้น (high temperature-short time; HTST) (Corcuera และคณะ, 2004) หรือหนึ่งด้วยไอน้ำร้อน โดยทั่วไปใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการตัดหรือหั่นและมีขนาด

เล็ก การลวกด้วยไอน้ำร้อนใช้เวลาน้อยกว่าการลวกด้วยน้ำร้อนเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไอน้ำมีค่ามากกว่าการลวกด้วยน้ำร้อน (Corcuera และคณะ, 2004)

5.2.4 การบรรจุ (filling)

ผลไม้กระป๋องบรรจุร่วมกับน้ำเชื่อมหรือน้ำผลไม้โดยความเข้มข้นของน้ำเชื่อมแบ่งเป็น 3 ระดับคือ น้ำเชื่อมเจือจางใช้กับแอปเปิลและผลไม้กลุ่มเบอร์รี น้ำเชื่อมธรรมดาใช้กับแอปริคอต สับปะรด ผลไม้รวมและผลไม้คอกเทล และน้ำเชื่อมเข้มข้นใช้กับลูกพรุนโดยบรรจุวัตถุดิบในกระป๋อง (อาจใช้กล่องหรือถุงพลาสติก ขวดแก้ว) แล้วเติมส่วนของเหลว เช่น น้ำเปล่า น้ำเกลือ น้ำมันหรือน้ำเชื่อม เป็นต้น (ภาพที่ 5.4) ลำไยบรรจุในขวดแก้วเติมน้ำเชื่อมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 28 และเติมกรดซิตริกร้อยละ 0.1 – 0.2 เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างทำให้สามารถลดความร้อนในการฆ่าเชื้อได้ โดยใช้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที



(A)



(B)

ภาพที่ 5.4 การบรรจุลำไย (A) และการเติมน้ำเชื่อม (B)

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

5.2.5 การเติมน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือ

ในการแปรรูปผักหรือผลไม้บรรจุกระป๋องมีทั้งการเติมน้ำเกลือหรือน้ำเชื่อมลงในกระป๋องด้วยเสมอเพื่อช่วยควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์ให้คงที่ส่งผลให้ผักและผลไม้เหล่านั้นๆ สามารถคงรูปร่างที่ดีเอาไว้ได้ อีกทั้งยังเป็นการปรุงแต่งรสชาติเพิ่ม รวมทั้งเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ผลิตภัณฑ์ ช่วยให้การถ่ายเทความร้อนภายในกระป๋องดีขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดเวลาการฆ่า

เชื้อลง นอกเหนือจากการใช้น้ำเกลือหรือน้ำเชื่อมแล้วของเหลวที่สามารถใช้บรรจุได้เช่น น้ำผลไม้ หรือซอส เป็นต้น

5.2.5.1 น้ำเกลือ

นิยมใช้น้ำเกลือเติมในผักบรรจุกระป๋อง เกลือที่ใช้เตรียมน้ำเกลือคือเกลือแกงหรือเกลือ โซเดียมคลอไรด์ แต่ถ้าต้องการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการอาจใช้เกลือโปแทสเซียมคลอไรด์ร่วมกับเกลือแกงในสัดส่วน 1 ต่อ 1 ในการเตรียมน้ำเกลือดังกล่าว เกลือที่ใช้ควรมีความบริสุทธิ์สูงปราศจากการปนเปื้อนของโลหะเนื่องจากทำให้เกิดขบวนการคีเลชันเกิดการเปลี่ยนสีของผักได้ง่าย น้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำเกลือต้องเป็นน้ำสะอาดและไม่เป็นน้ำกระด้างเพราะแคลเซียมหรือแมกนีเซียมที่มีในน้ำกระด้างทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทินทำให้เกิดเป็นแคลเซียมเพกเตตซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่าผักนั้นแข็งและเหนียวกว่าปกติได้และการมีแคลเซียมในน้ำเกลือทำให้เกิดการตกตะกอนของ โซเดียมคลอไรด์ได้ง่ายขึ้นส่งผลให้น้ำเกลือขุ่น อาจมีการเติมน้ำตาล สีเขียว ไดโซเดียมกลูตาเมตและ ซัลไฟต์ในน้ำเกลือด้วยเพื่อปรุงรสชาติและสีของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น ความเข้มข้นของน้ำเกลือในผักบรรจุกระป๋องส่วนมากมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1 – 3 โดยเฉลี่ยให้มีปริมาณเกลือร้อยละ 2 เมื่อถึงจุดสมดุล (cut out strength of salt)

5.2.5.2 น้ำเชื่อม

น้ำตาลที่ใช้ในการเตรียมน้ำเชื่อมอาจใช้ได้หลายชนิด เช่น น้ำตาลซูโครส น้ำตาล ฟรุกโตส กลูโคสไซรัป (แบบแซ) และน้ำตาลกลูโคส เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับระดับความหวานที่ต้องการ ประสิทธิภาพในการรักษาสีและการแทรกผ่านเนื้อเยื่อของผลไม้ ความหนืด และความสามารถในการ ตกผลึกของน้ำตาลว่าเป็นไปตามต้องการหรือไม่ แต่น้ำตาลที่นิยมใช้ในการเตรียมน้ำเชื่อมคือน้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครสเนื่องจากหาได้ง่ายราคาไม่สูงมากนักถึงแม้ว่าน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาล โมเลกุลคู่ที่มีประสิทธิภาพในการแทรกซึมผ่านเนื้อเยื่อไม่ดีเท่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่น น้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลฟรุกโตสแต่เมื่อผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนประกอบกับกรดที่มีในผลไม้ทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสบางส่วนไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคือ น้ำตาลกลูโคส และ น้ำตาลฟรุกโตส ดังนั้นประสิทธิภาพในการควบคุมแรงดันออสโมติกและสีของผลไม้จึงยังคงเกิดขึ้นได้ น้ำตาลทรายที่ใช้เตรียมน้ำเชื่อมนี้ต้องเป็นน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เพื่อให้ได้น้ำเชื่อมที่ใสปราศจากสิ่ง ปนเปื้อนและกลิ่นที่ผิดปกติ ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมสมดุล (cut out strength of sugar หรือ cut out brix) ที่นิยมใช้กับผลไม้กระป๋องมี 3 ระดับคือ

1) น้ำเชื่อมเข้มข้นพิเศษ (extra heavy syrup) มีความหวานเป็น 22 – 25 องศาบริกซ์

2) น้ำเชื่อมเข้มข้น (heavy syrup) มีความหวานเป็น 18 – 22 องศาบริกซ์

3) น้ำเชื่อมเจือจาง (light syrup) มีความหวานเป็น 14 – 18 องศาบริกซ์

ดังนั้นการเตรียมน้ำเชื่อมเพื่อบรรจุกระป๋องต้องเตรียมให้มีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำเชื่อมสมดุลที่ต้องการด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับการเตรียมน้ำเกลือ วิธีการคำนวณความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่ต้องเตรียมเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว สามารถทำได้ดังนี้ $AX + BY = Z(A+B)$

เมื่อ A = น้ำหนักน้ำเชื่อมใน 1 กระป๋อง (กรัม)

B = น้ำหนักผลไม้ใน 1 กระป๋อง (กรัม)

X = องศาบริกซ์ของน้ำเชื่อมที่ต้องเตรียมในครั้งนี้

Y = องศาบริกซ์ของผลไม้ก่อนบรรจุกระป๋อง

Z = องศาบริกซ์ของน้ำเชื่อมสมดุลที่ต้องการ

การเตรียมน้ำเชื่อมส่วนใหญ่มีการเติมกรดในน้ำเชื่อมด้วยเสมอทั้งนี้เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ให้มีค่าต่ำกว่า 4.5 แต่ไม่ควรต่ำกว่า 4 เพราะทำให้เกิดการละลายของดีบุกที่เคลือบกระป๋องได้ง่าย

กรดที่นิยมใช้คือ กรดซิตริก นอกเหนือจากนี้น้ำเชื่อมอาจมีการเติมสีหรือกลิ่นลงไปเล็กน้อยเพื่อให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น เช่น สตรอเบอร์รี่ เชอร์รี่ และลูกพลัม เป็นต้น

5.2.6 การเหลือช่องว่างภายในกระป๋อง (head space)

การเติมน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือในกระป๋องนั้นสารละลายต้องท่วมชิ้นผลิตภัณฑ์อยู่เสมอและต้องเหลือช่องว่างเหนือสารละลายประมาณ $1/4$ ถึง $5/16$ นิ้วจากปากกระป๋องก่อนปิดฝา โดยหลังปิดฝาแล้วเหลือช่องว่างนี้ $1/8$ ถึง $5/16$ นิ้ว เมื่อวัดจากจุดต่ำสุดของฝาถึงระดับที่มีอาหาร การเหลือช่องว่างนี้ไว้เพื่อให้เป็นที่ยึดของเนื้ออาหารที่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการฆ่าเชื้อและการไล่อากาศออกจากช่องว่างนี้ทำให้เกิดสภาวะสุญญากาศที่ดีขึ้นในกระป๋องเป็นผลทำให้การปิดผนึกฝากระป๋องสนิทมากขึ้น และลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารได้ การเหลือช่องว่างในกระป๋องน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการบวมของกระป๋องได้ง่ายในระหว่างการฆ่าเชื้อและการเหลือช่องว่างในกระป๋องมากเกินไปทำให้กระป๋องยุบได้ง่ายเช่นกัน

5.2.7 การไล่อากาศ (exhausting) และการปิดผนึก (seaming)

การไล่อากาศเป็นขั้นตอนการไล่อากาศหรือออกซิเจนให้ออกจากภาชนะบรรจุให้มากที่สุด ช่วยลดแรงดันภายในกระป๋องในระหว่างการฆ่าเชื้อและระหว่างเก็บรักษา ป้องกันการแตกตรงตะเข็บของภาชนะบรรจุในระหว่างการฆ่าเชื้อช่วยรักษาคุณภาพอาหารไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการมีออกซิเจนส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญได้ การไล่อากาศยังช่วยป้องกันกระป๋องบวมเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงช่วยให้เก็บอาหารกระป๋องได้นานขึ้น การไล่อากาศออกจากกระป๋อง (exhausting) เมื่อบรรจุอาหารในกระป๋องแล้วก่อนการปิดผนึกฝากระป๋องต้องผ่านขั้นตอนการไล่อากาศออกจากกระป๋องก่อนเพื่อป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อาจเกิดขึ้นภายในกระป๋องทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้อยลงไป และการทำปฏิกิริยากันของเหล็กและออกซิเจนในกระป๋องส่งผลต่อการเกิดเป็นเฟอร์รัสออกไซด์ (ferrous oxide, FeO) หรือเฟอริกออกไซด์ (ferric oxide, Fe₂O₃) ที่มีสีดำและสีแดงตามลำดับทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่น่ารับประทาน นอกจากนี้การไล่อากาศยังช่วยป้องกันการบวมของกระป๋องจากการขยายตัวของอากาศเมื่อได้รับความร้อนขณะฆ่าเชื้อ วิธีการไล่อากาศออกจากกระป๋องมีหลายวิธี เช่น การบรรจุขณะร้อน (hot filling) การใช้ตู้โม่งไล่อากาศ (exhaust box) และการดึงอากาศออกขณะปิดฝากระป๋อง (vacuum closing) เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือการใช้ตู้โม่งไล่อากาศ โดยใช้ไอน้ำฉีดพ่นลงในกระป๋องที่เคลื่อนที่ไปตามสายพานก่อนปิดผนึกกระป๋อง การไล่อากาศที่ดีควรใช้การกำหนดอุณหภูมิภายในของอาหารกระป๋องหลังออกจากตู้โม่งไล่อากาศ (initial temperature) โดยให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 75 – 77 องศาเซลเซียส สำหรับในอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือในครัวเรือนสามารถประยุกต์ใช้หม้อนึ่งในการไล่อากาศโดยควบคุมอุณหภูมิในหม้อนึ่งให้อยู่ในช่วง 88 – 93 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 5 – 6 นาที (ภาพที่ 5.5)



ภาพที่ 5.5 การไล่อากาศของลำไยในหม้อนึ่ง
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

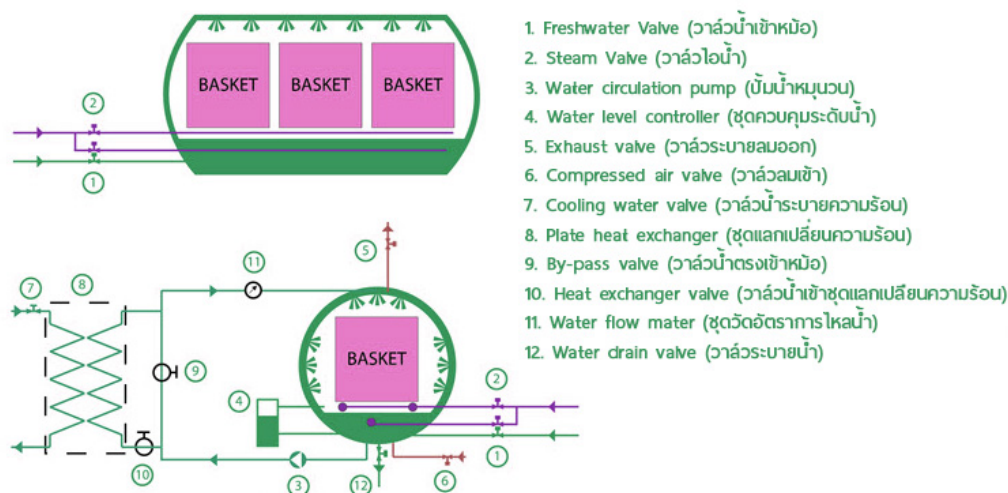
การปิดผนึก (seaming) สำหรับกระป๋องโลหะมีการยึดเกาะกันระหว่างตัวกระป๋องกับฝากระป๋อง ในลักษณะการผนึกแบบตะเข็บคู่ (double seam) ถ้าเป็นขวดแก้วใช้ฝาเคลือบเคลือบดีบุกแบบหมุนเกลียวหรือตะเข็บงอเพื่อป้องกันการรั่วซึมของภาชนะบรรจุต้องทำการปิดผนึกอย่างระมัดระวัง

5.2.8 การใช้ความร้อน (heat process) และการใช้น้ำเย็น (cooling)

การใช้ความร้อนเป็นกระบวนการใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารที่บรรจุภายในกระป๋อง ปริมาณความร้อนที่ใช้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา ชนิดอาหาร ชนิดและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ รูปร่างและขนาดของบรรจุภัณฑ์ ในการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องใช้อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษ เครื่องฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีหลายแบบ ดังนี้

5.2.8.1 เครื่องฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำโดยตรง

เครื่องฆ่าเชื้อชนิด direct Steam เหมาะสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะแข็งแรงทนทานต่อแรงดัน เช่น กระป๋อง เป็นต้น ต้นทุนในการผลิตต่ำ (ภาพที่ 5.6)



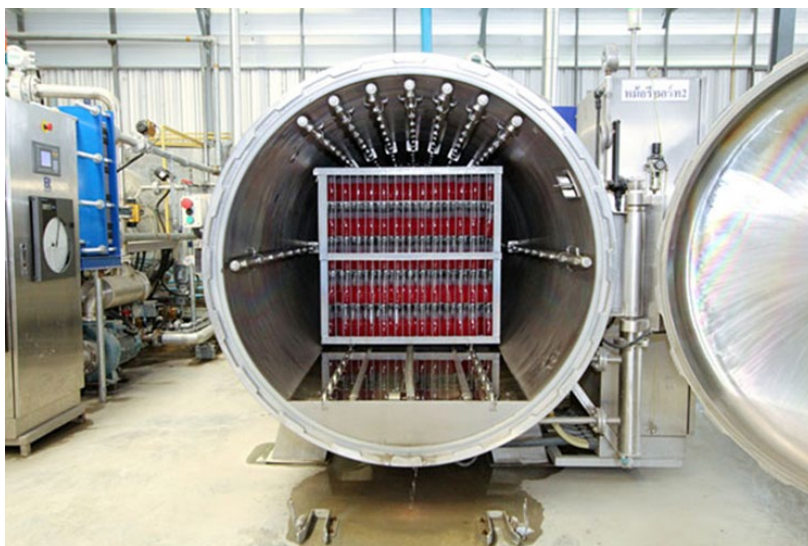
ภาพที่ 5.6 เครื่องฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำโดยตรง

ที่มา: <https://www.prfoodtech.com/images/product/des.jpg>, Retrieved May 20, 2019

ขั้นตอนการทำงานสำหรับ direct steam retort มีระบบการทำงานง่ายไม่ยุ่งยาก หม้อฆ่าเชื้อ PR โดยกระบวนการทางความร้อนชนิดอัดความดันพ่นน้ำ ควบคุมการทำงานอัตโนมัติทั้งระบบด้วยระบบ PLC (programmable logic controller) ใช้สำหรับการฆ่าเชื้ออาหารทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาหารชนิดถุง ขวดแก้ว พลาสติก หรือแม้กระทั่งกระป๋องอลูมิเนียมหรืออื่น ๆ ด้วยกระบวนการฉีดไอน้ำโดยตรงเข้าไปในหม้อพร้อมทั้งการพ่นน้ำจากทางด้านบนและด้านข้างอย่างต่อเนื่อง การกระจายความร้อนภายในหม้ออย่างทั่วถึงตลอดกระบวนการทั้งในช่วงขณะฆ่าเชื้อและช่วงทำความเย็น นอกจากนี้ในระหว่างขบวนการอุณหภูมิและความดันถูกบันทึกในกระดาศกร้าฟเพื่อการตรวจสอบในอนาคต โดยอุณหภูมิและความดันนี้ถูกควบคุมการทำงานแยกเป็นอิสระต่อกัน และยังสามารถตั้งค่าได้ตามความต้องการทุกขณะในระหว่างกระบวนการลงในหน่วยความจำของ PLC

5.2.8.2 เครื่องฆ่าเชื้อแบบหมุน (rotary retort)

เครื่องฆ่าเชื้อแบบหมุนเป็นหม้อฆ่าเชื้อภายใต้ความดันที่ภายในมีกลไกการหมุน บรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกสนิทเพื่อเร่งการถ่ายเทความร้อนทำให้มีการเคลื่อนที่ของอาหารภายใน บรรจุภัณฑ์ระหว่างการฆ่าเชื้อช่วยลดเวลาในการฆ่าเชื้อ อาหารมีคุณภาพดีขึ้น ลดการไหลของอาหาร ในบริเวณที่ติดกับภาชนะเหมาะสมกับอาหารเหลวที่เนื้อข้น เช่น น้ำกะทิ ซอส และซูป (ภาพที่ 5.7)



ภาพที่ 5.7 การฆ่าเชื้อแบบหมุน

ที่มา: <https://www.prfoodtech.com/images/product/re-04.jpg> Retrieved May 20, 2019

5.2.8.3 เครื่องฆ่าเชื้อแบบสเปรย์น้ำและใช้น้ำโดยตรง

เครื่องฆ่าเชื้อชนิด overpressure water spray และ direct steam สามารถทำการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ได้ 2 ระบบ คือ แบบสเปรย์น้ำ และแบบใช้น้ำโดยตรงซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และความต้องการใช้งานของผู้ผลิต เครื่องฆ่าเชื้อ overpressure water spray และ direct steam สามารถทำการฆ่าเชื้อบรรจุภัณฑ์ สำหรับอาหารได้หลากหลายชนิด อาทิเช่น ภาชนะพลาสติก อะลูมิเนียมแพคเกจ และขวดแก้ว เป็นต้น

การทำให้เย็นเป็นการใช้น้ำเย็นลดอุณหภูมิของกระป๋องอย่างรวดเร็วหลังผ่านขั้นตอนฆ่าเชื้อมาแล้วเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากความร้อนส่วนเกิน (overheat หรือ

overcook) ซึ่งในทางปฏิบัติจำเป็นต้องให้กระป๋องมีความร้อนเหลืออยู่พอที่จะทำให้ผิวนอกของกระป๋องแห้งสนิทไม่มีหยดน้ำเกาะอยู่เพื่อป้องกันการเกิดสนิมบนกระป๋องขณะเก็บรักษา

5.2.9 การติดฉลาก (labelling) การบรรจุหีบห่อ (packing)

การเก็บรักษาและการขนส่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนส่งจำหน่าย ซึ่งฉลากต้องประกอบไปด้วยเครื่องหมายทะเบียน/เลขอนุญาต น้ำหนักสุทธิหรือปริมาตรสุทธิ ชื่ออาหารภาษาไทย ส่วนประกอบที่สำคัญโดยประมาณ ส่วนประกอบบางประเภทถ้ามีการเติมลงไปเช่นการเจือสี การใช้ผงชูรส การใช้วัตถุกันเสีย การแต่งรส การแต่งกลิ่น เป็นต้น ระบุวันที่ผลิต หรือวันที่หมดอายุ ชื่อผู้ผลิตพร้อมที่อยู่ คำแนะนำในการเก็บรักษา คำแนะนำในการเตรียมเพื่อบริโภค โดยนำฉลากมาแปะแล้วติดด้านข้างของกระป๋องหรือใช้การสกรีนตัวอักษรลงบนข้างตัวกระป๋องอลูมิเนียมโดยตรง (ภาพที่ 5.8) การเก็บรักษาและขนส่งอาหารบรรจุกระป๋องควรควบคุมให้อยู่ในสถานะที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไป และระวังไม่ให้มีการกระแทกจนกระป๋องได้รับความเสียหาย



ภาพที่ 5.8 ลักษณะของฉลากบนผลไม้กระป๋อง

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

5.3 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กระป๋อง

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายก่อนการจำหน่ายเพื่อให้แน่ใจว่ามีคุณภาพตามที่ต้องการและปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยทั่วไปมีการตรวจสอบภายนอกกระป๋องและการตรวจสอบสิ่งที่บรรจุในกระป๋อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 การตรวจสอบภายนอกกระป๋อง

ผักและผลไม้กระป๋องจะถูกสุ่มตัวอย่างและทดสอบคุณภาพอย่างมีระบบ สิ่งสำคัญที่ต้องตรวจสอบ คือ

5.3.1.1 ตรวจสอบความผิดปกติด้านนอกของตะเข็บกระป๋อง

ความผิดปกติของกระป๋องมักเกิดขึ้นบริเวณตะเข็บข้างตัวกระป๋องขณะขึ้นรูปตัวกระป๋องและการปิดผนึกฝากระป๋องซึ่งอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงต้องปิดผนึกด้วยวิธี double seaming คือการปิดผนึกฝา 2 จังหวะ โดยจังหวะแรกเป็นการรีดให้ขอบฝากระป๋องค่อยๆ โค้งลงมาล็อกกับขอบตัวกระป๋อง ส่วนจังหวะที่ 2 จะรีดทับตะเข็บที่ได้จากจังหวะแรกทำให้ตะเข็บแน่นสนิท ตะเข็บที่สมบูรณ์ต้องไม่มีรอยย่น รอยแตก หรือสิ่งบกพร่อง ลักษณะของความผิดปกติกับตะเข็บ เช่น ตะเข็บย้วย ตะขอฝาไม่เกี่ยวประกบกัน รอยบุบ ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารผลิตอาหารกระป๋องจึงต้องมีการตรวจสอบการปิดฝาทุก 30 นาที โดยพนักงานตรวจสอบคุณภาพเพื่อแก้ปัญหาได้ทันที (งามทิพย์, 2550)

5.3.1.2 วัดสูญญากาศภายในกระป๋อง

กระป๋องที่ถูกปิดฝาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ควรจะมีสูญญากาศอย่างน้อย 8 นิ้วปรอท หรือ 0.27 บาร์ จากนั้นวัดส่วน headspace เพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องบรรจุ

5.3.1.3 ชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณน้ำหนักสุทธิและน้ำหนักเนื้อ

น้ำหนักสุทธิ (net weight) เป็นน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในกระป๋องสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักผลิตภัณฑ์รวมทั้งกระป๋องลบด้วยน้ำหนักกระป๋องเปล่า ส่วนน้ำหนักเนื้อ (Drained weight) เป็นน้ำหนักของส่วนที่เป็นของแข็ง หลังจากสะเด็ดน้ำบนตะแกรงขนาด 1/16 นิ้วเป็นเวลา 5 นาที น้ำหนักต่างๆ นี้จะต้องถูกต้องตรงกับที่ระบุในฉลาก

5.3.2 การตรวจสอบสิ่งที่บรรจุในกระป๋อง

5.3.2.1 สังเกตลักษณะทั่วไปภายในกระป๋อง

ผักและผลไม้และของเหลวที่บรรจุในกระป๋องต้องคงรูปมีเนื้อแน่นไม่เละปราศจากตำหนิและสิ่งแปลกปลอมมีสีและกลิ่นรสปกติ ส่วนน้ำเชื่อมและน้ำเกลือต้องมีลักษณะใสไม่ขุ่น น้ำเชื่อมต้องมีความเข้มข้นของน้ำตาลทรายตรงตาม cut-out ที่กำหนด

5.3.2.2 วัดคุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางโภชนาการที่วิเคราะห์จากผักและผลไม้ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี เบต้าแคโรทีน สารฟีนอลทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งปริมาณกรดทำได้โดยการไทเทรตโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ส่วนการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง วัดได้โดยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ซึ่งผลไม้หลังบรรจุกระป๋องควรมีความเป็นกรด-ด่าง ไม่ต่ำกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของผลไม้สด สำหรับผักหลังบรรจุกระป๋องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการเปรียบเทียบแอปปริคอทกระป๋องหลังการผลิตและเก็บรักษา 3 เดือน รวมทั้งวิเคราะห์กับแอปปริคอทสดจากแหล่งเดียวกัน โดยแอปปริคอทกระป๋องมีสารต้านอนุมูลอิสระในระดับใกล้เคียงกัน เบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 17 และฟีนอลเพิ่มขึ้นร้อยละ 48 ในขณะที่วิตามินซีลดลงร้อยละ 37 หลังการเก็บรักษา 3 เดือนระดับสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลสดร้อยละ 47 วิตามินซีไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการเก็บรักษาและเบต้าแคโรทีนลดลงร้อยละ 15 ผลแอปปริคอทกระป๋องที่บรรจุในน้ำเชื่อมเบาไม่มีระดับของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ที่สูงขึ้นซึ่งบ่งชี้ว่าปริมาณน้ำตาลในผลไม้ไม่เพิ่มขึ้น ผู้บริโภคที่รับประทานแอปปริคอทกระป๋องสามารถรู้สึกมั่นใจได้ว่าคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงหรือดีกว่าเมื่อเทียบกับแอปปริคอทสด (Adkison และคณะ, 2018)

5.3.2.4 สังเกตลักษณะภายในกระป๋องและรอยร้าวของตะเข็บ

ด้านในของกระป๋องควรมีสปีดไม่มีรอยด่างหรือมีสีดำ ในกรณีที่ใช้กระป๋องไม่เคลือบแลคเกอร์ไม่ควรมีรอยขีดข่วนและการหลุดลอกของแลคเกอร์ด้านในกระป๋อง อาหารที่เติมกรดเพื่อปรับให้มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นมีผลต่อการกัดกร่อนสารดีบุกที่เคลือบกระป๋องและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา เช่น ลำไยสอดไส้เนื้อมะม่วงในน้ำเชื่อมและลำไยในน้ำส้มบรรจุกระป๋องเมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน มีปริมาณดีบุกเพิ่มขึ้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ชุตินา และคณะ, 2551)

5.3.2.5 การตรวจสอบจุลินทรีย์

การตรวจสอบจุลินทรีย์เป็นการตรวจสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อและปิดผนึก หากการตรวจสอบพบจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายชนิดอื่นนอกเหนือจากจุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูงแต่ไม่เป็นอันตรายแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการฆ่าเชือนั้นให้ความร้อนไม่เพียงพอหรือถ้าพบปริมาณมากกว่าปกติแสดงว่ามีการรั่วของตะเข็บกระป๋องเนื่องจากความบกพร่องในการปิดผนึก สำหรับอาหารในภาชนะปิดสนิทตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคต้องไม่มีสารพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ส่วนอาหารชนิดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 4.6 ลงมาตรวจพบจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ไม่เกิน 1,000 ต่ออาหาร 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หรือ 45 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารกระป๋องโลหะส่วนอาหารในภาชนะบรรจุชนิดลามิเนตไม่เกิน 10,000 ต่ออาหาร 1 กรัม ตรวจพบยีสต์และราไม่เกิน 100 ต่ออาหาร 1 กรัม ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม หรือตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 กรัม ในกรณีที่ตรวจโดยวิธี เอ็มพีเอ็น (Most Probable Number) (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2556)

5.4 การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กระป๋อง

การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กระป๋องเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุโดยมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 การเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีและการปฏิบัติงาน

การเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมีและการปฏิบัติงานแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะสำคัญคือ การบวม การบูบ การเกิดสนิม และการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์และตัวกระป๋องด้านใน

5.4.1.1 การบวมของกระป๋อง

การบวมของกระป๋องเป็นสิ่งที่อาจเกิดขึ้นได้ง่าย เนื่องจากสาเหตุดังนี้

1) การบวมเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจน (hydrogen swell) เนื่องจากบริเวณช่องว่างในกระป๋องมีก๊าซไฮโดรเจนสะสมอยู่มากกว่าปกติทั้งนี้อาจเกิดจากการกัดกร่อนเหล็กตัวกระป๋องจากกรดที่มีอยู่ในอาหารทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นซึ่งลักษณะนี้พบในอาหารที่มีความเป็นกรดสูงหรืออาจเลือกใช้กระป๋องที่มีการเคลือบไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น

2) การบวมเนื่องจากไนโตรต์ ผักหรือผลไม้ที่มีสารประกอบไนโตรต์ (NO_2^-) อยู่มาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากในระหว่างการเพาะปลูกเมื่อให้ความร้อนกับผักหรือผลไม้นี้ดังกล่าวทำให้เกิดการแตกตัวของไนโตรต์เป็นไนตรัสออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนทำให้กระป๋องบวมได้

3) การบวมเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมแลลาร์ดในปฏิกิริยามีการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยจึงทำให้กระป๋องบวม

4) การบวมจากการบรรจุมากเกินไปเมื่ออาหารได้รับความร้อนขยายตัวทำให้เกิดการบวมของกระป๋องขึ้น แต่สามารถกดให้กระป๋องกลับสู่ลักษณะปกติได้ (springer)

5) การบวมเนื่องจากการใช้หม้อนิ่งความดันไม่ถูกต้องเช่นการลดความดันในเครื่องเร็วเกินควรทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกกระป๋องเป็นอย่างมากทำให้กระป๋องโป่งพองออกได้ การบวมแบบนี้ก็สามารถกดกลับให้อยู่ในสภาวะปกติได้ แต่การยึดกันของตะเข็บกระป๋องลดลง

6) การบวมเนื่องจากการไล่อากาศไม่เพียงพอทำให้มีอากาศเหลืออยู่ในกระป๋องเมื่อได้รับความร้อนอากาศขยายตัวทำให้กระป๋องบวมได้

5.4.1.2 การบวมของกระป๋อง

การบวมของกระป๋องเกิดขึ้นกับกระป๋องที่มีขนาดใหญ่เพราะภายในกระป๋องเกิดสภาวะเป็นสุญญากาศได้ง่าย ตัวกระป๋องบวมเนื่องจากแรงกดจากบรรยากาศภายนอก หรืออาจเกิดจากการใช้แผ่นโลหะที่บางเกินไปในการผลิตกระป๋องทำให้ไม่สามารถทนแรงกดจากภายนอกได้

5.4.1.3 การเกิดสนิมของกระป๋อง

1) การทำให้กระป๋องเย็นหลังการฆ่าเชื้อมากเกินไปคือต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส อาจทำให้กระป๋องไม่แห้ง และเกิดสนิมได้ง่าย

2) รอยขีดข่วนบนผิวกระป๋องด้านนอก ทั้งเกิดจากการเคลือบที่ไม่ดีหรือการขนย้ายอย่างไม่ระมัดระวัง บริเวณที่เป็นรอยขีดข่วนนี้เกิดสนิมได้ง่ายเพราะเนื้อเหล็กของกระป๋องสัมผัสกับอากาศ ความชื้นในบรรยากาศทำให้เกิดสนิมได้ง่าย

3) ห้องเก็บรักษาไม่เหมาะสมคือมีความชื้นสูง อุณหภูมิสูงทำให้กระป๋องเกิดสนิมได้ง่ายโดยเฉพาะการเก็บรักษาในห้องเก็บที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 29 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ทำให้ตะกั่วบริเวณรอยบัดกรีเกิดการกร่อนได้ง่ายทำให้เกิดสนิมบริเวณรอยตะเข็บกระป๋องได้

5.4.1.4 การเปลี่ยนสีของอาหารและผิวกระป๋องด้านใน

- 1) การใช้กระป๋องไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาเคมีเลชันทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของอาหารได้
- 2) สารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่น สารประกอบไนเตรต (NO_3^-) ทำให้เกิดคราบดำบนผิวด้านในของกระป๋อง

5.4.2 การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

มีสาเหตุหลักเนื่องจากการใช้อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อไม่ถูกต้อง การวางกระป๋องในหม้อนึ่งความดันชนิดจนเกินไป การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในวัตถุดิบสูงเกินไป หรือการทำให้กระป๋องเย็นตัวช้าเกินไป เป็นต้น การตรวจสอบว่ามีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋องสามารถตรวจสอบได้ง่ายด้วยการบ่มในอุณหภูมิ 2 ระดับ ดังนี้

5.4.2.1 ระดับที่ 1

การบ่มที่อุณหภูมิ 35 – 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 – 30 วัน เพื่อตรวจสอบจุลินทรีย์กลุ่มทนความร้อนปานกลาง (mesophiles)

5.4.2.2 ระดับที่ 2

การบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 – 14 วัน เพื่อตรวจสอบการมีอยู่ของจุลินทรีย์กลุ่มทนร้อน (thermophiles)

ถ้าหากตรวจพบว่าการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋องแสดงการเน่าเสียปรากฏเป็น 3 ลักษณะ (Lund และคณะ, 2000) คือลักษณะแรกเป็นการเน่าเสียที่กระป๋องไม่บวม การเน่าเสียแบบนี้กระป๋องไม่บวมแต่อาหารมีรสเปรี้ยวเกิดขึ้น (flat sour) เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนสร้างกรดขึ้นมา เช่น *Bacillus stearothermophilus* ลักษณะที่สองคือการเน่าเสียที่อาหารมีกลิ่นเหม็น (sulphide stink) จุลินทรีย์ที่มีอยู่สามารถสลายโปรตีน ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีกลิ่นเหม็น และกระป๋องไม่บวมเพราะก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นจากการสลายของโปรตีนสามารถทำปฏิกิริยากับเหล็กทำให้เกิดคราบดำของเฟอร์รัสซัลไฟด์ได้ด้วย จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุ ได้แก่ *Clostridium nigrificans* กลุ่มของจุลินทรีย์ทนร้อน และลักษณะที่ 3 คือการเน่าเสียที่ทำให้กระป๋องบวม (swelling) จุลินทรีย์สร้างก๊าซต่าง ๆ ขึ้นเช่น ก๊าซไฮโดรเจน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุ ได้แก่ *Clostridium thermosaccharolyticum*

5.5 บทสรุป

การแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิททั้งแบบกระป๋องโลหะ ขวดแก้ว และถุงแบบพิเศษให้ความร้อนในระดับที่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ก่อให้เกิดโรคและก่อให้เกิดการเสื่อมเสียความร้อนที่ต้องเพียงพอสำหรับทำลายสปอร์ของแบคทีเรียที่ชอบเจริญในสภาวะอุณหภูมิสูง ขั้นตอนในการแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท ลำดับแรกคือการเตรียมวัตถุดิบด้วยการนำผักหรือผลไม้มาล้างทำความสะอาด ตัดแต่งส่วนที่ไม่ต้องการออก หั่นเป็นชิ้นขนาดเท่ากัน ปรับปรุงคุณภาพก่อนการบรรจุด้วยการแช่ในสารที่ป้องกันการเน่าหรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เช่น กรดซิตริกหรือแอสคอร์บิก ต่อมานำไปลวกด้วยความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์โดยเฉพาะเอนไซม์ peroxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ส่งผลต่อรสชาติ สี และคุณค่าทางโภชนาการที่ลดลง บรรจุใส่ภาชนะเติมน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือให้เหลือช่องว่างภายในกระป๋องเพื่อให้เป็นที่อยู่ของเนื้ออาหารที่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนระหว่างการฆ่าเชื้อ จากนั้นไล่อากาศออกจากอาหารและปิดผนึกฝากระป๋อง ให้ความร้อนกับภาชนะโดยเครื่องฆ่าเชื้อมีหลายแบบทั้งแบบใช้ไอน้ำโดยตรง แบบหมუნ และแบบสเปรย์น้ำหรือใช้ไอน้ำโดยตรง หลังจากให้ความร้อนแล้วต้องนำภาชนะบรรจุปิดสนิทผ่านน้ำเย็นทันทีเพื่อลดอุณหภูมิของกระป๋องป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร ตีฉลากและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ในภาชนะปิดสนิท

แบบฝึกหัด

1. อธิบายหลักการแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท
2. อธิบายขั้นตอนการแปรรูปผักและผลไม้บรรจุในภาชนะปิดสนิท
3. จงบอกข้อดีของการลวกด้วยน้ำร้อน
4. เหตุผลในการไล่อากาศออกจากภาชนะบรรจุเพื่ออะไร
5. การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กระป๋องจากเกิดจากสาเหตุใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง

- งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2550). *การบรรจุอาหาร*. เอส พี เอ็ม การพิมพ์.
- ชุติมา อัครเสถียร, นงลักษณ์ รัตนรักษ์, ศุภมาศ กลิ่นขจร, ภาวนา บุญนาค, ภาคินี อัครเวสสะพงศ์, และกุลวิไล สุทธิลักษณ์วนิช. (2551). การผลิตลำไยสดใส่เนื้อมะม่วงในน้ำเชื่อมและลำไยในน้ำส้มบรรจุกระป๋องสำหรับสถาบันเกษตรกร. *วารสารวิชาการเกษตร*, 26(3), 245–254.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (24 กรกฎาคม 2556). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่มที่ 130 ตอนพิเศษ 87ง, หน้า 88–92.
- อินทรา ลิจันทรพร. (2557). ผลของแคลเซียมซิเตรทต่อคุณภาพของลองกองพร้อมบริโภค. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2)(พิเศษ), 601–604.
- Adkison, E.C., Biasi, W.B., Bikoba, V., Holstege, D.M., & Mitcham, E.J. (2018). Effect of canning and freezing on the nutritional content of apricots. *Journal of food science*, 83(6), 1757–1761.
- Akhtar, A., Abbasi, N.A., & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, 42(1), 181–188.
- Corcuera, J., Cavalieri, R., & Powers, J. (2004). Blanching of foods, *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*, 1–5. <https://doi:10.1081/E-EAFE-120030417>.
- Derahman, Z., Borkhan N.A, Razali R.F.A., & Manikam R.V. (2017). The effect of blanching treatment on chemical and sensory properties of broccoli. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 5(4), 56–62.
- Lund, B.W., Baird-Parker, A.C., & Gould, G.W. (2000). *The microbiological safety and quality of food*. Aspen Publications.

บทที่ 6 การแปรรูปน้ำผักและน้ำผลไม้

การแปรรูปน้ำผักและน้ำผลไม้ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิดทั้งน้ำผักและผลไม้ล้วนหรือมีการผสมกันของผลไม้หลายชนิดและมีทั้งเจือจางและเข้มข้น ประชากรจำนวนมากนิยมดื่มน้ำผลไม้ประกอบอาหารเช้าซึ่งน้ำผลไม้มีทั้งวิตามิน เกลือแร่ สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่คงตัว ปริมาณการบริโภคน้ำผักและน้ำผลไม้ในประเทศต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นวิธีการเก็บรักษาหรือยืดอายุ น้ำผักและน้ำผลไม้จึงมีทั้งการแช่เย็น การพาสเจอไรซ์ การสเตอริไรซ์ การแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งชนิดผง เพื่อให้สามารถเก็บไว้ได้นานและใกล้เคียงของสดมากที่สุด

6.1 ความหมายของน้ำผักและน้ำผลไม้

ผักและผลไม้บางชนิดนิยมแปรรูปเป็นน้ำผักและน้ำผลไม้ ทั้งนี้นอกจากอุดมไปด้วยวิตามินและเกลือแร่มีรสเปรี้ยวหวานเป็นที่นิยมของผู้บริโภคแล้ว สามารถใช้เป็นเครื่องปรุงแต่งรสชาติของผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ไอศกรีม และไส้ขนม เป็นต้น ใช้เป็นส่วนผสมพื้นฐานของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น เครื่องดื่ม แยม เยลลี่ และอาหารเสริมสำหรับทารก เป็นต้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 62 พ.ศ. 2524 ได้ให้คำจำกัดความของน้ำผักและน้ำผลไม้หมายถึงเครื่องดื่มที่ทำจากผักหรือผลไม้ไม่ว่ามีคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตาม อาจมีแอลกอฮอล์อันเกิดจากธรรมชาติของส่วนประกอบหรือเติมลงไปเพื่อช่วยในกรรมวิธีการผลิตรวมกันได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งน้ำผักและน้ำผลไม้เหล่านี้อาจอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์พร้อมดื่มเข้มข้น หรือผงได้

6.2 ประเภทของวัตถุดิบที่นำมาทำน้ำผักและน้ำผลไม้

ผักและผลไม้ทุกชนิดสามารถนำมาทำน้ำผักและน้ำผลไม้ได้เพราะผักและผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยโดยเฉพาะผลไม้สุกมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงกว่าร้อยละ 80 ผักและผลไม้ในประเทศไทยที่นำมาทำน้ำผักและน้ำผลไม้อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

6.2.1 ผักหรือผลไม้ที่สามารถคั้นหรือบีบน้ำออกจากเซลล์ได้ง่าย

ผักและผลไม้ที่สามารถคั้นหรือบีบน้ำออกจากเซลล์ได้ง่าย เช่น ส้มเขียวหวาน มะนาว องุ่น และมะเขือเทศ เป็นต้น วิธีการในการคั้นน้ำทำได้หลายแบบตั้งแต่การใช้มือบีบแต่ต้องระวังในเรื่องความคมของเปลือกโดยเฉพาะพวกพืชตระกูลส้มที่มีต่อมน้ำมันอยู่ที่ผิวบนลงมาพร้อมกับน้ำทำให้เกิดระคายเคืองได้หรือการใช้เครื่องคั้นน้ำผลไม้ซึ่งมีทั้งการปั่นผัก ผลไม้ทั้งเนื้อและน้ำหรือแบบที่สามารถแยกกากได้ มีทั้งขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือน และขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

6.2.2 ผักหรือผลไม้ที่น้ำยึดแน่นกับเนื้อเยื่อ

ผักและผลไม้ที่เมื่ออาจบีบหรือคั้นเอาน้ำออกจากเนื้อเยื่อได้โดยวิธีง่ายๆ เช่น กว๊วยหอม ฝรั่ง ลำไย มะม่วง และผักเกือบทุกชนิดซึ่งผักหรือผลไม้ประเภทนี้มีความยุ่งยากในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำผักหรือน้ำผลไม้ได้ยากเพราะการใช้น้ำสกัดโดยการต้มกับผักหรือผลไม้ก็ได้ น้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่ไหม้ แต่ปัจจุบันมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้เอนไซม์ย่อยสลายเนื้อเยื่อผลไม้ให้เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ เช่น เอนไซม์เพกติกซึ่งช่วยย่อยสารประกอบเพกทินในเนื้อผักและผลไม้ไปเป็นกรดเพกติกหรือกรดกาแลกตอโรนิกที่ละลายน้ำได้ เซลลูเลสเป็นเอนไซม์ช่วยย่อยเส้นใยในเนื้อเยื่อผัก และผลไม้ไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ แล้วผสมด้วยน้ำจากผลไม้ชนิดอื่นที่ปราศจากสี กลิ่น และรส การต้มน้ำผักหรือน้ำผลไม้กับน้ำผักหรือน้ำผลไม้ประเภทอื่นที่ไม่มีสี กลิ่น และรส แล้วนำเข้าเครื่อง บีบแยกน้ำผักหรือน้ำผลไม้ออกจากเนื้อเยื่อ และกรองเพื่อแยกชิ้นเนื้อผักหรือผลไม้ขนาดใหญ่จึงได้น้ำผักหรือน้ำผลไม้แท้เช่นกัน

6.3 ชนิดของน้ำผักและน้ำผลไม้

ผลิตภัณฑ์น้ำผักและน้ำผลไม้อาจแบ่งได้หลายชนิดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็ง ปริมาณกรดหรือ ความขุ่น ความใสของผลิตภัณฑ์ ชนิดของน้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่สำคัญได้แก่ น้ำผักและน้ำผลไม้แท้ น้ำผักและน้ำผลไม้พร้อมดื่ม น้ำผักและน้ำผลไม้เข้มข้น และน้ำผักและน้ำผลไม้ผง

6.3.1 น้ำผักและน้ำผลไม้แท้

สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดดังนี้

6.3.1.1 น้ำผักและน้ำผลไม้สดแบบใส (natural clear juice)

น้ำผักและน้ำผลไม้สดแบบใส หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบีบอัดเนื้อผักและเนื้อผลไม้ทำให้ได้ของเหลวที่ค่อนข้างใสไม่มีการปรุงแต่งด้วยสารประกอบใด ๆ ทั้งสิ้น น้ำผักและน้ำผลไม้นี้ผ่านการกรองหรือใช้การหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วประมาณ 5,000 รอบต่อนาที ได้น้ำผลไม้ที่ใส (ภาพที่ 6.1)



ภาพที่ 6.1 น้ำผลไม้แบบใส

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

6.3.1.2 น้ำผักและน้ำผลไม้แบบขุ่น (puree หรือ cloudy juice)

น้ำผักและน้ำผลไม้แบบขุ่น หมายถึง น้ำผักและน้ำผลไม้ที่ได้จากการตีบ้นเนื้อผักหรือเนื้อผลไม้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวมีปริมาณของแข็งสูงกว่าน้ำผักและน้ำผลไม้สด และไม่มีการปรุงแต่งด้วยสารประกอบใดๆ ทั้งสิ้น ตัวอย่างเช่น น้ำมะเขือเทศ น้ำสับปะรด น้ำส้ม และน้ำองุ่น เป็นต้น (ภาพที่ 6.2)



ภาพที่ 6.2 น้ำผักผลไม้แบบชุ่น

ที่มา: <https://mthai.com/app/uploads/2019/05/juice-jpg> Retrieved May 18, 2021.

สำหรับน้ำแอปเปิลนั้นถือว่าเป็นน้ำผลไม้แบบใสแต่ยังมีตลาดที่กำลังเติบโตสำหรับน้ำแอปเปิลแบบชุ่น น้ำแอปเปิลมีสีเหลืองจนถึงสีขาวมีความขุ่นมัวชัดเจนซึ่งไม่แสดงการตกตะกอนมากแต่ไม่มีรสฝาดหรือขม ปัญหาหลักของการผลิตน้ำแอปเปิลชุ่นคือสีและความเสถียรของความขุ่นซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ การเปลี่ยนสีของน้ำแอปเปิลและความขุ่นมากเป็นผลมาจากการเกิดสีน้ำตาลของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO, EC1. 14. 18. 1) ซึ่งไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล ส่วนความขุ่นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของ methylesterase (PME, EC 3. 1. 1. 11) ซึ่งมีความสำคัญต่อความขุ่นที่เกิดขึ้นในน้ำผลไม้ การแก้ปัญหาน้ำแอปเปิลที่มีความขุ่นมากและสีเปลี่ยนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง (high pressure carbon dioxide; HPCD) ที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 ถึง 65 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และความดัน 20 เมกะปาสคาล วิธีนี้สามารถยับยั้งเอนไซม์ PPO อย่างสมบูรณ์และกิจกรรมของ PME ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ยังยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลชุ่นได้ โดยไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแอปเปิล การใช้กรดแอสคอร์บิกและเอนไซม์ลงไปในน้ำแอปเปิลแดงเพื่อแปรรูปเป็นน้ำผลไม้ จากนั้นปั่นเหวี่ยงและนำไปเก็บรักษาและศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมี โดยใช้แอปเปิลแดงสายพันธุ์ Trinity, Maypole, Alex Red และชุดควบคุมใช้พันธุ์ Champion

และ Idared เติมกรดแอสคอร์บิกระหว่างการสกัดในปริมาณ 500 – 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเนื้อแอปเปิลเพื่อเพิ่มการสกัดแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้และป้องกันการเกิดออกซิเดชันพบว่าการใช้เอนไซม์ไม่ได้ส่งผลต่อสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระควรเก็บน้ำแอปเปิลแดงไว้ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อรักษาแอนโทไซยานินไม่ให้สลายไปอย่างรวดเร็ว (Mieszczakowska-Fráć และคณะ, 2015)

6.3.2 น้ำผักและน้ำผลไม้พร้อมดื่ม

น้ำผักและน้ำผลไม้พร้อมดื่มหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผักและน้ำผลไม้แท้ที่อาจมีการปรุงแต่งด้วยน้ำตาล เกลือ กรด สารเพิ่มความหนืด สี และกลิ่นสังเคราะห์ ในกรณีที่มีการเจือจางด้วยน้ำต้องมีน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เป็นส่วนประกอบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 (ภาพที่ 6.3)



ภาพที่ 6.3 น้ำผักและน้ำผลไม้พร้อมดื่ม

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

6.3.3 น้ำผักและน้ำผลไม้เข้มข้น

น้ำผักและน้ำผลไม้เข้มข้น หมายถึง น้ำผักและน้ำผลไม้ที่ต้องนำมาเจือจางก่อนการบริโภค แบ่งเป็นหลายชนิดได้แก่

6.3.3.1 น้ำผักและน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดหวาน (sweet concentrate fruit juice)

ผักและน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดหวานหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผักและน้ำผลไม้แท้ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลประมาณร้อยละ 60 – 70 และอาจมีการเติมกรดอินทรีย์เพื่อลดการตกผลึกของน้ำตาลตลอดจนเจือสีผสมอาหารได้ (ภาพที่ 6.4)



ภาพที่ 6.4 น้ำลูกพีชเข้มข้น

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

6.3.3.2 น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดเนคต้า (nectar)

ผักและน้ำผลไม้ชนิดเนคต้า หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพืชหรืออาจใช้พืชผลไม้มากกว่า 1 ชนิด มีการเติมน้ำตาลหรือน้ำเชื่อม และกรดซิตริก ผลิตภัณฑ์เนคต้าต้องประกอบไปด้วยเนื้อผลไม้แท้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 ยกเว้นผลไม้บางชนิดเช่น เบอร์รี่ ฝรั่ง ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 ส่วนมะม่วง และมะละกอต้องมีเนื้ออยู่อย่างน้อยร้อยละ 35 เป็นต้น (ภาพที่ 6.5)



ภาพที่ 6.5 น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดเนคต้า

ที่มา: <https://drinks.seriousseats.com/images/2012/01/20120130-orange-juice-no-pulp-group.jpg> Retrieved May 18, 2019.

6.3.3.3 น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดสควอช (squash)

น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดสควอช หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผักหรือน้ำผลไม้แท้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 ความเข้มข้นของสควอชมีมากกว่าคอร์เดียล แต่ต่ำกว่าเนคต้ามีของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 มีความเป็นกรดประมาณร้อยละ 1.2 – 1.5 (ภาพที่ 6.6)



ภาพที่ 6.6 น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดสควอช

ที่มา : ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

6.3.3.4 น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดคอร์ดียัล (cordial)

น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดคอร์ดียัล หมายถึง เครื่องดื่มที่มีลักษณะและคุณสมบัติ คล้ายคลึงกับสควอชส์ แต่มีความใสกว่ามีน้ำผลไม้แท้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 และมีของแข็งที่ละลายได้ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 มีความเป็นกรดระหว่างร้อยละ 1.2 – 2.5 (ภาพที่ 6.7)



ภาพที่ 6.7 น้ำผักและน้ำผลไม้ชนิดคอร์ดียัล

ที่มา : ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

6.3.3.5 น้ำผักและน้ำผลไม้แท้เข้มข้น (concentrated fruit juice)

น้ำผักและน้ำผลไม้แท้เข้มข้น หมายถึง ผลิตภัณฑ์น้ำผักและน้ำผลไม้ที่ได้จากการระเหยน้ำออกจากน้ำผักและน้ำผลไม้แท้จนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่า ร้อยละ 45 และมีค่า water activity (a_w) ประมาณ 0.65 – 0.85 เพื่อลดการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ (ภาพที่ 6.8)



ภาพที่ 6.8 น้ำผักและน้ำผลไม้แท้เข้มข้น
ที่มา : ภาพถ่ายโดยผู้เขียน



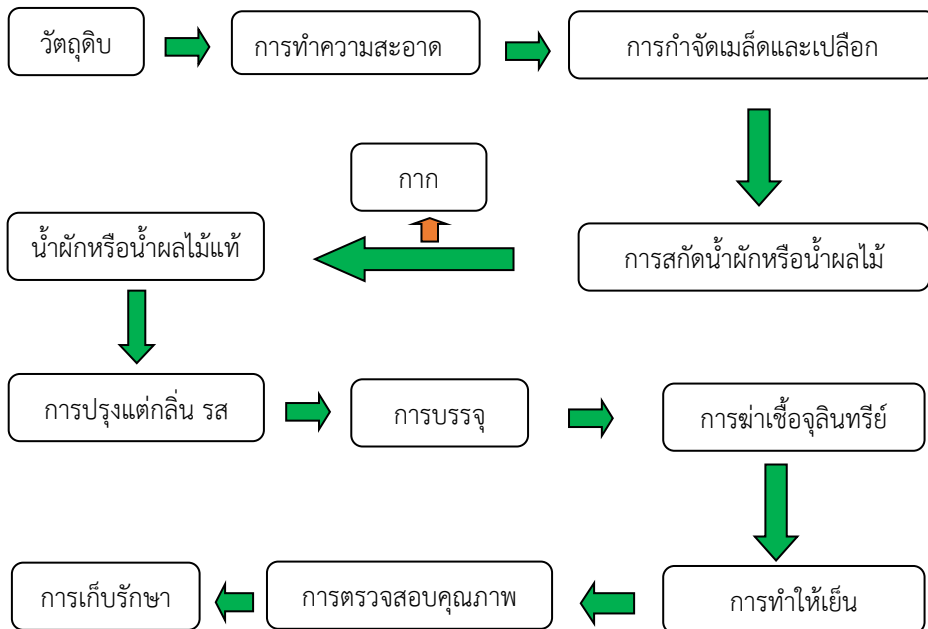
ภาพที่ 6.9 น้ำผักและน้ำผลไม้ผง
ที่มา : ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

6.3.4 น้ำผักและน้ำผลไม้ผง (dehydrated fruit juice)

น้ำผักและน้ำผลไม้ผง หมายถึง ผลิตภัณฑ์น้ำผักและน้ำผลไม้ที่มีการระเหยน้ำออกจนแห้ง มีลักษณะเป็นผงมีความชื้นเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 6 ส่วนอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการระเหยน้ำนี้ได้แก่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการระเหยน้ำเหล่านี้ เช่น การผลิตเครื่องดื่มผงกลั่นเปลือก และกลั่นแคนตาลูปมีส่วนประกอบของเติกซ์โตรสโมโนไฮเดรต ครีมเทียม และแป้งข้าวโพดเป็นส่วนประกอบหลัก (ภาพที่ 6.9)

6.4 กระบวนการผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้

กรรมวิธีการแปรรูปน้ำผักและน้ำผลไม้หลายชนิดมีขั้นตอนต่าง ๆ คล้ายกันคือการรับวัตถุดิบ การล้างทำความสะอาด การปอกเปลือก การสกัดน้ำ การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ และการบรรจุ ซึ่งแต่ละขั้นตอนต้องมีการควบคุมคุณภาพด้วยเสมอ ขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 ขั้นตอนการผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้
ที่มา: สุพัตรา (2551)

6.4.1 วัตถุดิบ

ผักและผลไม้ที่นำมาแปรรูปเป็นน้ำผักหรือน้ำผลไม้ต้องมีความแก่อ่อนที่เหมาะสมโดยผลไม้ควรเป็นผลไม้สุกและสดใหม่เนื่องจากผลไม้ที่สุกให้สีที่คงที่ เนื้อนิ่ม ช่วยในการสกัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อ มีกลิ่นรสเหมาะสม มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (เช่น น้ำตาล) สูงสุด ยกตัวอย่างสับปะรดที่แก่จัดต้องมีเนื้อสีเหลืองมาก มีน้ำตาลร้อยละ 14 – 16 มีปริมาณกรดอินทรีย์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.3 – 0.45 มีกลิ่นหอมของสับปะรด เป็นต้น ผลไม้ที่อมจนเกินไปไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำผลไม้ เนื่องจากให้กลิ่นรสที่ผิดปกติและมีสีคล้ำ ส่วนผักที่นำมาแปรรูปเป็นน้ำผักที่ต้องมีความแก่จัดเช่นเดียวกัน ดังนั้นการคัดเลือกวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้จึงเป็นส่วนที่สำคัญที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี

6.4.2 การกำจัดเมล็ดและการปอกเปลือก

หลังจากล้างทำความสะอาดผักและผลไม้ด้วยน้ำสะอาดแล้ว ผลไม้ต้องนำมาปอกเปลือกและกำจัดเมล็ดออกก่อนที่นำไปสกัดน้ำ ผักและผลไม้ผ่านการตัดแต่ง หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนนำไปสกัดน้ำ ในบางครั้งขั้นตอนนี้อาจมีการใช้ความร้อนในการช่วยปอกเปลือก ทำให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม ง่ายต่อการสกัดยิ่งขึ้น เช่น มะเขือเทศ เป็นต้น

6.4.3 การสกัดน้ำผักหรือน้ำผลไม้

การสกัดน้ำผักหรือน้ำผลไม้เป็นส่วนที่สำคัญของการผลิตมี 2 ขั้นตอน คือ

6.4.3.1 ขั้นตอนการลดขนาด (disintegration)

การลดขนาดเป็นการทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กก่อน เพื่อให้ได้ง่ายต่อการบีบสกัด ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป

6.4.3.2 ขั้นตอนการบีบสกัด

การบีบสกัดในทางปฏิบัติสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1) การสกัดโดยวิธีทางกล หมายถึง การใช้แรงไปทำให้เซลล์เนื้อเยื่อผลไม้ฉีกขาดแตกแยกแล้วมีผลให้ส่วนของน้ำผลไม้ไหลซึมออกมาพร้อมกับสารอาหาร สารให้กลิ่นรส และสารให้สีโดยการใช้แรงกล ได้แก่ การบีบ การหีบ การตัด การตีป่น การสับ และวิธีการสับหรือบีบอัดร่วมกัน การสกัดน้ำผลไม้ด้วยวิธีนี้เหมาะกับผลไม้ที่มีน้ำมาก เช่น แตงโม ส้ม องุ่น และสับปะรด

2) การสกัดด้วยวิธีชีวภาพ หมายถึง การใช้สารชีวภาพคือเอนไซม์เพื่อย่อยสลายเนื้อเยื่อ การสกัดโดยวิธีนี้เหมาะกับผลไม้ที่มีน้ำมากและเซลล์เนื้อผลไม้เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กหรือเยื่อใยมีลักษณะสั้นเมื่อตีบผลไม้มีลักษณะข้นมาก และน้ำน้อย ได้แก่ กล้วย ทูเรียน และน้อยหน่า

6.4.4 การทำให้น้ำผักและน้ำผลไม้ใส

น้ำผลไม้ที่สกัดได้มีลักษณะขุ่น เมื่อตั้งทิ้งไว้อาจแยกชั้นหรือตกตะกอนทำให้ลักษณะเหมือนไม่สดได้แก่ น้ำองุ่น และน้ำแอปเปิล ส่วนน้ำผลไม้ชนิดใสต้องแยกสารแขวนลอยอยู่ในน้ำออกไป บางครั้งอาจใช้เอนไซม์เพกทินไสลงในน้ำผักและผลไม้ที่สกัดมาแล้วโดยเพกทินช่วยให้สารประกอบพวกเพกทินตกตะกอน วิธีการที่นิยมใช้หยุดการทำงานของเพกตินเนส คือ การใช้ความร้อนซึ่งทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของผักและผลไม้ทั้งหมดขึ้นเพื่อทำลายกิจกรรมของเอนไซม์เพกตินเนสก่อนที่นำผักผลไม้เหล่านี้ไปสกัดน้ำหรือน้ำเนื้อและน้ำของผักและผลไม้ที่ได้ผ่านความร้อนทันทีหลังการสกัด อุณหภูมิที่ใช้ทำลายเอนไซม์เพกตินเนสนั้นอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 92 – 98 องศาเซลเซียส อาจจำเป็นต้องกำจัดอนุภาคแขวนลอยหรืออนุภาคที่ไม่ละลายน้ำออกให้มากที่สุดซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกรอง การใช้ระบบความเย็น การใช้เอนไซม์ เป็นต้น

นอกจากวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจึงอาจใช้วิธีการหมุนเหวี่ยงการกลั่นเพื่อช่วยให้ของเหลวใสได้ ในระหว่างการสกัดต้องระมัดระวังเรื่องการปะปนของเปลือกและเมล็ดของวัตถุดิบซึ่งอาจทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติในน้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่สกัดได้

6.4.5 การปรุงแต่งคุณภาพ

การปรุงแต่งคุณภาพเป็นขั้นตอนของการปรับแต่งน้ำผักหรือน้ำผลไม้ ให้ได้ชนิดที่ต้องการ โดยอาจเติมน้ำตาล กรดอินทรีย์ หรือสารเคมี เช่น สารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความขุ่น เป็นต้น เพื่อให้ได้น้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่ต้องการ น้ำที่ใช้ต้องสะอาด และไม่มีแร่ธาตุปะปนอยู่

สารให้ความหวานนิยมใช้น้ำตาลทรายขาว เพื่อป้องกันการเกิดสีคล้ำของผลิตภัณฑ์ตลอดจนการมีกลิ่นแปลกปลอมอันเนื่องมาจากกากน้ำตาล (molasses) ที่อยู่ในน้ำตาลที่ไม่ฟอกสี

กรดเป็นวัตถุเจือปนที่เพิ่มกลิ่นรสของเครื่องดื่ม ช่วยลดค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ ทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ที่อาจมีอยู่นั้นลดลง และถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่ายขึ้น และการใช้

น้ำตาลในผลิตภัณฑ์สูงควรเติมกรดช่วยให้น้ำตาลทรายบางส่วนแตกตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวยังช่วยลดการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลงได้ กรดที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่ กรดซิตริกเนื่องจากสามารถรวมตัวกับแร่ธาตุในน้ำผลไม้จึงป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี รสชาติ และวิตามินในน้ำโดยกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และให้ความคงตัว

6.4.6 การบรรจุ

การบรรจุเป็นการเก็บรักษาน้ำผักและน้ำผลไม้ให้นานขึ้น การบรรจุมีทั้งระบบการบรรจุเย็น (cold fill system) และระบบบรรจุร้อน (hot fill system) (วีไล, 2559) โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.4.6.1 ระบบการบรรจุเย็น

ระบบการบรรจุเย็นให้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 4 – 6 สัปดาห์ โดยต้องเก็บรักษา จัดจำหน่าย และกระจายสินค้าภายใต้อุณหภูมิ 0 – 5 องศาเซลเซียส การบรรจุเย็นทำให้สามารถเก็บรักษากลิ่นรสของน้ำผลไม้ขณะบรรจุได้

6.4.6.2 ระบบบรรจุร้อน

ระบบการบรรจุร้อนเป็นระบบที่เป็นที่รู้จักกันนับตั้งแต่เริ่มเทคโนโลยีการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (aseptic technology) เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษานาน โดยทั่วไปบรรจุในขวดกระป๋องซึ่งการบรรจุน้ำผักและน้ำผลไม้บรรจุในขณะร้อนทั้งนี้เพื่อไล่อากาศที่เหลืออยู่ในขวดหรือกระป๋องออกไปทำให้เกิดสภาพสุญญากาศป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อต่อไป

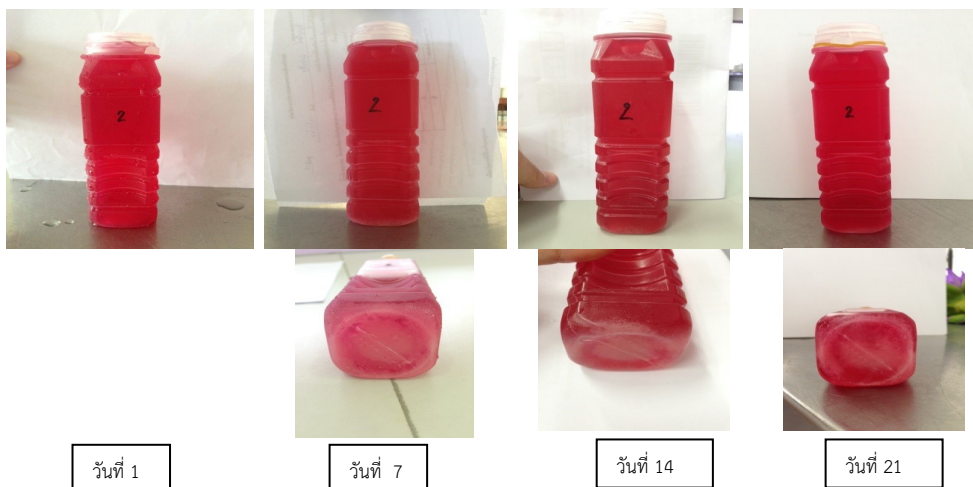
6.4.7 การฆ่าเชื้อ

ปกติการฆ่าเชื่อน้ำผลไม้ไม่นิยมใช้อุณหภูมิน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) แต่น้ำผลไม้บางชนิด เช่น น้ำส้ม น้ำมะนาว ไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากเกิดรสขม กลิ่นเปลี่ยนแปลงไปไม่เหมือนผลไม้สด ดังนั้นน้ำส้ม น้ำมะนาวนี้จึงใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อประมาณ 80 องศาเซลเซียส และมีการใช้สารกันบูดร่วมด้วย

ส่วนน้ำผักแช่แข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำผลไม้เนื่องจากน้ำผักมีความเป็นกรดน้อยกว่า หลังการต้มแช่แข็งน้ำผักและน้ำผลไม้แล้วต้องทำให้เย็นทันทีเพื่อเป็นการหยุดการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผักและน้ำผลไม้เพราะจุลินทรีย์เกิดการช็อกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว อีกทั้งการทำให้เย็นหลังการแช่แข็งยังเป็นการลดปัญหาของน้ำผักและน้ำผลไม้ที่มีกลิ่นรสผิดปกติไปเนื่องจากเกิดการให้ความร้อนนานเกินไป (over cooked)

6.4.8 การเก็บรักษา

น้ำผักหรือน้ำผลไม้บรรจุขวดหรือกระป๋องสามารถเก็บไว้ได้นานเมื่อเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิต่ำควบคู่กันไป ในบางครั้งผลิตภัณฑ์น้ำผักและน้ำผลไม้อาจเก็บรักษาในสภาพแช่แข็งได้โดยเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิ (-20) องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 3 เดือน ซึ่งน้ำผักและน้ำผลไม้มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำผักและน้ำผลไม้สดมากกว่าการบรรจุขวด หรือกระป๋อง บางครั้งอาจเก็บรักษาในสภาพแช่แข็งโดยมีของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ทั้งหมดสูงกว่าร้อยละ 45 นอกจากนี้ยังมีการเก็บรักษาในสภาพเป็นผงแห้งที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ทำให้สามารถเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำสกัดเปลือกแก้วมังกรที่ร้อยละ 90 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาน้ำสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่ร้อยละ 90 มีตะกอนสีขาวขุ่นที่ก้นขวด ขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.00 โคโลนีต่อตารางเซนติเมตร ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (21 วัน) อย่างไรก็ตามจำนวนจุลินทรีย์ดังกล่าวไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด ดังภาพที่ 6.11



ภาพที่ 6.11 ลักษณะปรากฏทางกายภาพของผลิตภัณฑ์พร้อมดื่มจากน้ำสกัดเปลือกแก้วมังกรระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บรักษานาน 21 วัน
ที่มา: อินทิรา และคณะ (2561a)

6.5 บทสรุป

น้ำผักและน้ำผลไม้หมายถึงเครื่องดื่มที่ทำจากผักหรือผลไม้ไม่ว่ามีคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตาม อาจมีแอลกอฮอล์อันเกิดจากธรรมชาติของส่วนประกอบหรือเติมลงไปเพื่อช่วยในกรรมวิธีการผลิตรวมกันได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งน้ำผักและน้ำผลไม้เหล่านี้อาจอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์พร้อมดื่มเข้มข้น หรือผงได้ น้ำผักและน้ำผลไม้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผักหรือผลไม้ที่สามารถคั้นหรือบีบน้ำออกจากเซลล์ได้ง่าย และผักหรือผลไม้ที่น้ำยึดแน่นกับเนื้อเยื่อชนิดของน้ำผักและน้ำผลไม้แบ่งเป็น 5 ชนิด โดยชนิดแรกคือ น้ำผักและน้ำผลไม้ทั้งแบบใสและแบบขุ่น ชนิดที่สองคือน้ำผักและน้ำผลไม้พร้อมดื่ม ชนิดที่สามคือน้ำผักและน้ำผลไม้เข้มข้นมีทั้งชนิดหวาน เนคต้า สควอช คอร์เดียล และเข้มข้น ชนิดที่สี่คือน้ำผักและน้ำผลไม้ผง กระบวนการผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้เริ่มจากการรับวัตถุดิบที่มีคุณภาพไม่สุกเกินไปจนมีกลิ่นและสีที่ผิดปกติ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ดี การล้างทำความสะอาดกำจัดเมล็ดและการปอกเปลือกเพื่อให้ง่ายต่อการสกัด การสกัดน้ำแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือการลดขนาดให้วัตถุดิบมีขนาดเล็ก และขั้นตอนการบีบสกัดด้วยวิธี

ทางกลคือการใช้แรงกล เช่น การบีบ ตีป่น และสับ เป็นต้น และวิธีชีวภาพ เช่น การใช้เอนไซม์เพื่อย่อยสลายเนื้อเยื่อ การทำให้น้ำผักและน้ำผลไม้ใสด้วยการตั้งทิ้งไว้หรือใช้เอนไซม์ เพกตินเอสช่วยเพกตินตกตะกอนจากนั้นให้ความร้อนเพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ กำจัดอนุภาคแขวนลอยด้วยการกรอง การปรุงแต่งคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วยการเติมสารให้ความหวาน กรด สารปรุงแต่งกลิ่นรส และอื่น ๆ การบรรจุมี 2 ระบบคือการบรรจุเย็น และการบรรจุร้อน จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และผ่านน้ำเย็นทันทีเพื่อหยุดการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ การเก็บรักษาน้ำผักและน้ำผลไม้ที่บรรจุขวดหรือกระป๋องสามารถเก็บไว้ได้นาน ควบคู่กับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

แบบฝึกหัด

1. อธิบายความหมายของน้ำผักและน้ำผลไม้
2. น้ำผักและน้ำผลไม้มีกี่ประเภท อะไรบ้าง
3. ให้เขียนขั้นตอนการผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้
4. วิธีการทำให้น้ำผลไม้ใสได้อย่างไร
5. ระบบการบรรจุเย็น และระบบบรรจุร้อนแตกต่างกันอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

- วิไล รังสาดทอง. (2559). เทคโนโลยีการแปรรูปผักและผลไม้ (พิมพ์ครั้งที่ 2). ยูโอเพ่น.
- สุพัตรา พูลพิชชนม์. (2551). เทคโนโลยีผักและผลไม้ [เอกสารที่ไม่มีการตีพิมพ์]. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.
- อินทิรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, และอัญชลินทร์ สิงห์คำ. (2561a). ผลของน้ำสกัดจากเปลือกแก้วมังกรต่อคุณภาพทางเคมี-กายภาพ และประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มพร้อมบริโภค. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบันครั้งที่ 6 (หน้า AS393–399). สมุทรปราการ: มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- Mieszczakowska-Frąc, M., Buczek, M., Kruczyńska, D., & Markowski, J. (2015). Cloudy red-fleshed apple juice production and quality. *Polish Journal of Natural Sciences*, 30(1), 59–72.

บทที่ 7 การแปรรูปผักและผลไม้โดยการหมักดอง

การแปรรูปผักและผลไม้โดยการหมักดองมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารถึงแม้ว่าอาหารดองมีวิวัฒนาการมาจากการผลิตในครัวเรือน แต่ในปัจจุบันอาหารหมักดองกลายเป็นการดองในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้พืชผักในปริมาณมาก เช่น กะหล่ำปลีดอง หน่อไม้ดอง ผลไม้ดองชนิดต่าง เช่น มะม่วงดอง ฝรั่งดอง เป็นต้น วิธีการดองมีหลายแบบได้แก่ การดองเค็ม การดองเปรี้ยว และการดองปรุงรส รวมทั้งขั้นตอนการผลิตต้องมีขั้นตอนในการผลิตที่สะอาดปลอดภัยเพื่อให้อาหารที่ผ่านการดองสามารถเก็บได้นานขึ้น

7.1 หลักการการแปรรูปผักและผลไม้โดยการหมักดอง

การดองเป็นการถนอมอาหารโดยการแช่อาหารในเกลือหรือน้ำเกลือ หรือน้ำส้มสายชูซึ่งเกลือสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ทำให้เก็บรักษาผักและผลไม้ได้นานขึ้น การหมักดองทำให้อาหารมีรสและกลิ่นที่ดีขึ้น อาหารในกลุ่มชา กาแฟ โกโก้ ต้องผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้ได้กลิ่นรสเฉพาะตัวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทำให้เกิดอาหารชนิดใหม่ เช่น แอลกอฮอล์ และน้ำส้มสายชู การแปรรูปด้วยการหมักสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สร้างออกมา เช่น แอลกอฮอล์ กรดแอซิดิก และกรดแลกติก เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้ทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์อาหาร จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการแปรรูปผักและผลไม้โดยการหมักได้แก่ ยีสต์ (yeast) ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ (ภาพที่ 7.1) ไวน์ (ภาพที่ 7.2) และสาโท (ภาพที่ 7.3) เป็นต้น ซึ่งให้แอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการหมัก



ภาพที่ 7.1 เบียร์
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน



ภาพที่ 7.2 ไวน์
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน



ภาพที่ 7.3 สาโท

ที่มา: <https://f.ptcdn.info/228/059/000/pdli32oocpXvMdQZTxS-o.jpg> Retrieved May 21, 2019

แบคทีเรียแลกติก (lactic acid bacteria) ได้แก่ *Lactobacillus* spp. และ *Streptococci* สามารถผลิตกรดแลกติกที่มีรสเปรี้ยวให้เกิดในผลิตภัณฑ์ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เช่น ในผักดองเปรี้ยว กิมจิ และผักดอง เป็นต้น (ภาพที่ 7.4)



ภาพที่ 7.4 ผักดอง และกิมจิ

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

แบคทีเรียแอซีติก (acetic acid bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแอซีติก (acetic acid) ทำให้เกิดรสเปรี้ยวเช่นใน การผลิตผักดองเปรี้ยว และการผลิตวุ้นมะพร้าว (ภาพที่ 7.5) ซึ่งแบคทีเรียที่ผลิตวุ้นคือ *Acetobacter xylinum*



ภาพที่ 7.5 วุ้นมะพร้าว หรือวุ้นสวรรค์
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

7.2 ขั้นตอนการผลิตผักและผลไม้ดอง

สำหรับขั้นตอนการผลิตผักและผลไม้ดองต้องเริ่มตั้งแต่การคัดเลือกวัตถุดิบ การทำความสะอาด การตัดแต่งวัตถุดิบให้ได้ขนาดตามต้องการ การบรรจุในภาชนะ รวมทั้งการเตรียมน้ำดองซึ่งกล่าวรายละเอียดดังนี้

7.2.1 วัตถุดิบผักและผลไม้

ผักและผลไม้ที่นำมาดองควรมีความแน่นเนื้อที่เหมาะสม ปราศจากตำหนิหรือรอยน้ำ ไม่มีเชื้อราและไม่เคี้ยวไซ และควรผลิตทันทีหลังจากเก็บเกี่ยว

7.2.2 การทำความสะอาด

การทำความสะอาดผักและผลไม้ด้วยน้ำสะอาด กำจัดดินที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบเพื่อลดเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้ต้องไม่กรอบและเน่าเสียได้

7.2.3 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบโดยตัดแต่งผักและผลไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการรวมทั้งแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เพื่อเพิ่มความกรอบและป้องกันการเกิดสีน้ำตาลให้กับผักและผลไม้ต้องด้วยการแช่ในกรดซิตริกร้อยละ 0.5 แล้วนำมาล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง

7.2.4 การบรรจุในภาชนะ

อาหารหมักต้องนิยมบรรจุในภาชนะประเภทแก้ว พลาสติกเกรดอาหารหรือเครื่องเคลือบไม่ควรใช้ภาชนะที่ทำจากอะลูมิเนียม ทองแดง สังกะสีหรือเหล็กเพราะทำปฏิกิริยากับกรดหรือเกลือในอาหารทำให้มีสี กลิ่นรส เปลี่ยนไป ภาชนะที่นำมาบรรจุควรผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการลวก หรือแช่ในสารละลายคลอรีนก่อนนำมาบรรจุเพื่อเก็บรักษาได้นานขึ้น

7.2.5 การเตรียมน้ำดอง

ส่วนผสมของน้ำดองประกอบด้วย เกลือ น้ำตาล เครื่องเทศ น้ำ กรดซิตริกและสารกันเสีย กลุ่มโซเดียมเบนโซเอต ตัวอย่างน้ำดองที่ใช้ในการดองผักกาดไช้อัตราส่วนผักกาด 1 กิโลกรัม ต่อเกลือ 50 กรัม ต่อน้ำตาลปี๊บ 60 กรัม และน้ำ 2 ลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มฆ่าเชื้อก่อนใช้ผสมกับวัตถุดิบ

7.2.6 การเตรียมกล้าเชื้อ

การหมักผักกาดดองโดยอาศัยแบคทีเรียที่ติดมากับวัตถุดิบเป็นเชื้อจุลินทรีย์ในบางครั้งก็ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากกระบวนการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ เช่น ความเปรี้ยวของผักดองที่ได้ในแต่ละครั้งไม่คงที่ หรือระยะเวลาในการหมักเร็วช้าต่างกัน เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากความผันแปรของชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบ ในปัจจุบันมีการใช้กล้าเชื้อ (starter culture) ที่ได้จากการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการโดยมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณมากอาจ

ประกอบด้วยจุลินทรีย์เพียง 1 ชนิด หรือมากกว่า 1 ชนิด โดยกล้าเชื้อช่วยให้การหมักมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ และการใช้กล้าเชื้อยังมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันเสียชีวภาพ (Bio preservative) สามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการได้ ส่วนมากนิยมทำเป็นกล้าเชื้อผง (powder inoculum) เพื่อสะดวกในการขนส่งและง่ายต่อการใช้งาน ในการหมักอาหารหลายชนิดในระดับอุตสาหกรรม ขนาดใหญ่ (large-scale production) มีการใช้กล้าเชื้อเพื่อควบคุมกระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การหมักผักกาดดองโดยใช้กล้าเชื้อผง *Lactobacillus plantarum* TISTR 1334 ร้อยละ 5 ใช้เวลาในการหมักเพียง 5 วัน เร็วกว่าการดองแบบดั้งเดิมซึ่งใช้เวลาในการหมัก 7 วัน (กันรัฐภูมิ และกฤตพร, 2562)

7.3 ประเภทการดอง

การดองนั้นแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การดองเค็ม การดองเปรี้ยว และการดองปรุงรส ซึ่งแต่ละประเภทประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

7.3.1 การดองเค็ม

การดองเค็มเป็นการดองโดยใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงประมาณร้อยละ 20 – 25 ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 วิธี โดยวิธีแรกเป็นการดองเค็มโดยการแช่ผักและผลไม้ในน้ำเกลือเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 15 และวิธีที่สองเป็นการดองเค็มโดยการหมักผักและผลไม้ด้วยเกลือในอัตราส่วนผักหรือผลไม้ 1 ส่วนกับเกลือ $\frac{1}{2}$ – 1 ส่วน เรียกว่า การหมักแห้ง ตัวอย่างการหมักแห้งได้แก่ ผักกาดดองเค็ม และผักกาดเขียวปลีดองเค็ม

7.3.2. การดองเปรี้ยว

การดองเปรี้ยวเป็นการดองโดยแช่ชิ้นอาหารในสารละลายที่เป็นกรด ทำได้ 2 แบบคือ

7.3.2.1 แช่น้ำเกลือ

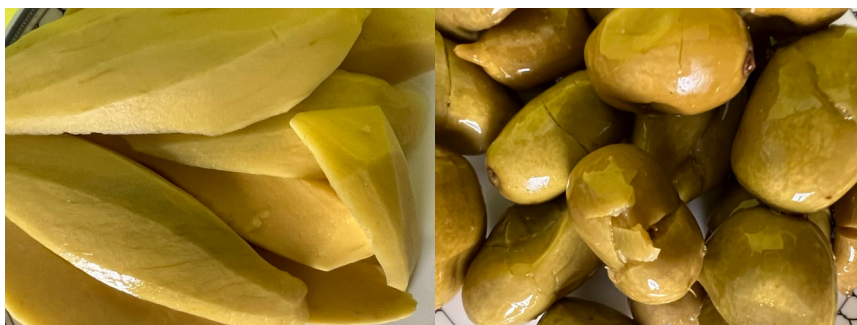
ใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 – 8 หมักอาหารไว้ประมาณ 3 – 5 วัน เกิดรสเปรี้ยวเนื่องจากจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ที่อยู่ในผัก เช่น แป้ง น้ำตาล เป็นสารอินทรีย์ที่ช่วยในการถนอมอาหาร เช่น แอลกอฮอล์ กรดแลกติก และสารอินทรีย์ที่ให้กลิ่นหอมเฉพาะของอาหารหมักดองแต่ละชนิด

7.3.2.2 แช่น้ำส้มสายชู

ใช้น้ำส้มสายชูในการแช่อาหารเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติกลมกล่อม มีรสเปรี้ยว เค็ม หวาน และมีกลิ่นหอมน่ารับประทานมากขึ้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการดองเปรี้ยวเช่น ผักกาดเขียวปลี ดองเปรี้ยว กะหล่ำปลีดองเปรี้ยว (sauerkraut) และผักผสมดองเปรี้ยวหรือกิมจิ (kimji) เป็นการหมักผักสดในน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 2 – 3 ของน้ำหนักผัก ดองไว้ 3 – 4 วันได้ผักที่มีรสเปรี้ยว

7.3.3 การดองปรุงรส

การดองปรุงรสเป็นการนำผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้ดองบางชนิดมาหมักในน้ำปรุงได้รสชาติตามที่ต้องการ เช่น แตงกวาดองปรุงรส ขิงดองปรุงรส และมะม่วงดองปรุงรส (ภาพที่ 7.6) นิยมใช้ผักหรือผลไม้ดองเค็มหรือเปรี้ยวมาแปรรูปอีกครั้งหนึ่ง วิธีการคือนำผักหรือผลไม้ดองเค็มแช่น้ำเพื่อลดความเค็มและเปรี้ยว และนำมาแช่ในน้ำปรุงรสซึ่งนิยมใช้เกลือหรือซอสปรุงรส น้ำตาล น้ำส้มสายชู (หรือกรดแอสซิดิก) สีส้มอาหาร เหล้า และเครื่องเทศเป็นส่วนผสมของน้ำดองปรุงรส สำหรับผลไม้ดองปรุงรสนิยมใช้เกลือ น้ำตาล และกรดซิตริกเป็นส่วนผสมของน้ำดองปรุงรส โดยแช่ผักหรือผลไม้ในน้ำดองปรุงรสประมาณ 10 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิในระหว่างการหมักสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นหมัก รส และกลิ่นเปลี่ยนไปทำให้ไม่น่ารับประทาน



ภาพที่ 7.6 ผลไม้ดองปรุงรส

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

7.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักดอง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักในช่วงต้นคือปฏิกิริยาออสโมซิส น้ำและสารที่ละลายได้โดยเฉพาะน้ำตาลที่มีอยู่ในผักและผลไม้ไหลออกมาในน้ำเกลือทำให้น้ำเกลือมีสารอาหารมากเพียงพอสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งที่เป็นจุลินทรีย์จากธรรมชาติ (natural flora) ของผักและผลไม้รวมถึงจุลินทรีย์ที่ติดมากับดินและน้ำ ช่วงกลางของการหมักเชื้อแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* เริ่มที่เจริญเติบโตอย่างเด่นชัดขึ้นมาแทนแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ และเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นกรดแลกติก กรดแอสติค แอลกอฮอล์ แมนนิทอล เดกซ์แทรน เอสเทอร์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเฉพาะของผักและผลไม้ดองชนิดนั้น ๆ นอกจากนี้สารระเหยที่เกิดขึ้นมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อยีสต์ การหมักช่วงสุดท้ายแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดแลกติกที่ไม่สร้างก๊าซโดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Lactobacillus plantarum* เจริญต่อและสร้างกรดแลกติกออกมาจนมีความเข้มข้นร้อยละ 1.5 – 2.0 แบคทีเรียชนิดนี้สร้างกรดแลกติกออกมาเพียงชนิดเดียวจากการหมักน้ำตาล และความเป็นกรดที่เป็นที่ยอมรับอยู่ในช่วงร้อยละ 1.7 (ในรูปกรดแลกติก) การหมักสิ้นสุดลงโดยน้ำผักและผลไม้ดองนี้มาผ่านความร้อนหรือนำไปแช่เย็น

7.5 การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่ผ่านการหมักดอง

ภาชนะบรรจุที่ใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ ได้แก่ กระป๋องหรือขวดแก้วซึ่งต้องปลอดเชื้อรา เชื้อยีสต์ อาจทำได้ด้วยการเติมน้ำมันพืชลงไปเคลือบที่ผิวหน้าของน้ำเกลือให้หนาเพื่อจำกัดอากาศไม่ให้เข้าไปในผลิตภัณฑ์ทำให้เชื้อยีสต์ และเชื้อราไม่สามารถเจริญได้ การเติมน้ำเกลือลงไปจนเต็มแล้วปิดผนึกภาชนะให้แน่นสนิทด้วยการยาปูน จากตารางที่ 7.1 และ 7.2 ข้อมูลการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กิมจิเห็ดที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษากิมจิที่อุณหภูมิห้องพบเชื้อยีสต์และราทั้งหมดตลอด 3 วัน ส่วนการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส ไม่พบเชื้อดังกล่าว

ตารางที่ 7.1 ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์และทางเคมีของผลิตภัณฑ์กิมจิเห็ดที่บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง

จำนวน ของวัน	ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์				ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	
	แบคทีเรีย ทั้งหมด	แบคทีเรียที่ สร้างกรด แลกติกทั้งหมด	ยีสต์ทั้งหมด	ราทั้งหมด	ความเป็น กรด-ด่าง	ร้อยละ กรดแอสซิดิก
0	$>300 \times 10^3$	$>300 \times 10^3$	$>300 \times 10$	$>300 \times 10$	6.05 ± 0.00	0.23 ± 0.01
1	$>300 \times 10^8$	179×10^{10}	$>300 \times 10^6$	$>300 \times 10^6$	4.56 ± 0.02	0.38 ± 0.02
3	$>300 \times 10^8$	$>300 \times 10^8$	$>300 \times 10^6$	$>300 \times 10^6$	3.91 ± 0.00	0.80 ± 0.02

ที่มา: นิษฐกานต์ (2555)

ตารางที่ 7.2 ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์และทางเคมีของผลิตภัณฑ์กิมจิเห็ดเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

จำนวน ของวัน	ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์				ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	
	แบคทีเรีย ทั้งหมด	แบคทีเรียที่สร้าง กรดแลกติก ทั้งหมด	ยีสต์ทั้งหมด	ราทั้งหมด	ความเป็น กรด-ด่าง	ร้อยละ กรดแอสซิดิก
0	$>300 \times 10^8$	$>300 \times 10^9$	–	–	3.89 ± 0.02	0.50 ± 0.02
3	$>300 \times 10^8$	179×10^9	–	–	3.75 ± 0.02	0.44 ± 0.03
6	$>300 \times 10^8$	$>300 \times 10^8$	–	–	3.79 ± 0.02	0.63 ± 0.03
9	$>300 \times 10^9$	$>300 \times 10^{10}$	–	–	3.96 ± 0.01	0.64 ± 0.02

ที่มา: นิษฐกานต์ (2555)

7.6 ตัวอย่างการผลิตผักและผลไม้หมักดอง

7.6.1 การผลิตกะหล่ำปลีดองเปรี้ยว

7.6.1.1 การเตรียมกะหล่ำปลี

กะหล่ำปลีดองเปรี้ยวผลิตโดยการนำกะหล่ำปลีมาหมักกับเกลือป่นร้อยละ 2 – 3 เพื่อให้เกิดกรดแลกติกขึ้นร้อยละ 1.5 – 2 กะหล่ำปลีที่ใช้ควรมีปริมาณน้ำตาลสูงตั้งแต่ร้อยละ 3.5 ขึ้นไป หลังการเก็บเกี่ยวมักเก็บในท้องที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก 2–3 วัน เพื่อให้ผักมีการสูญเสียไอน้ำไปบ้าง ทำให้การตัดแต่งง่ายขึ้นไม่เกิดการแตกหัก กะหล่ำปลีถูกตัดแต่งใบนอกออก ตัดแกน ล้างและหั่นฝอยหนา 1.5 – 2 มิลลิเมตร เติมเกลือร้อยละ 2.25 คลุกเคล้าให้เข้ากันดี แล้วบรรจุลงในถังหมัก อาจใช้ถังไม้หรือถังที่ทำด้วยกระเบื้องเคลือบ

ถ้าใช้ถังไม้นิยมเคลือบด้วยพาราฟินเสียก่อน เพื่ออุดรูหรือรอยแตก ซึ่งรอยแตกนี้อาจเป็นที่อยู่ของเชื้อจุลินทรีย์มากมายที่ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก และยังป้องกันการดูดกลืนจากไม้ด้วย หลังการบรรจุถังแล้วมีการปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกที่ผิวหน้า แล้วเติมน้ำหรือน้ำเกลือเพื่อทับให้กะหล่ำปลีจมลงในน้ำเกลือที่เกิดขึ้น

7.6.1.2 กระบวนการหมักกะหล่ำปลีดองเปรี้ยว

กระบวนการหมักกะหล่ำปลีแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1) ช่วงเริ่มต้นของการหมัก

สภาพปราศจากอากาศของส่วนผสม (เกลือ กะหล่ำปลีหั่นฝอย และน้ำ) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการใช้อากาศในการหายใจของเซลล์ผักที่ยังมีชีวิตอยู่ และอาจมีแบคทีเรียบางชนิดที่เกี่ยวข้องด้วยในน้ำหมักซึ่งประกอบด้วยเกลือ และสารอาหารที่ซึมออกจากกะหล่ำปลีมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งที่เป็นจุลินทรีย์จากธรรมชาติ (natural flora) ของกะหล่ำปลีรวมถึงจุลินทรีย์ที่ติดมากับดินและน้ำดังนั้นในช่วงแรกของการหมักนี้ จึงมีแบคทีเรียหลายชนิดเจริญขึ้นมา ซึ่งมักประกอบด้วยแบคทีเรียพวกโคลิฟอร์ม (Coliform) เช่น *Enterobacter cloacae* ซึ่งสร้างก๊าซและกรดระเหย นอกจากนี้ยังอาจพบ *Erwinia herbicola* และแบคทีเรียแลกติกบางชนิด จุลินทรีย์ที่พบในช่วงนี้เป็นตัวสร้างรสชาติบางอย่างขึ้นในผลิตภัณฑ์กะหล่ำปลีดองเปรี้ยว

2) ช่วงกลางของการหมัก

เชื้อแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* เริ่มที่เจริญเติบโตอย่างเด่นชัดขึ้นมาแทนแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ และสร้างกรดแลกติกออกมาจนมีความเข้มข้นร้อยละ 0.7 – 1.0 นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียกลุ่ม streptococci เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 18 – 21 องศาเซลเซียส และไม่ถูกยับยั้งแต่ถูกกระตุ้นด้วยเกลือความเข้มข้นร้อยละ 2.5 แบคทีเรียเหล่านี้สามารถเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นกรดแลกติก กรดแอสติก แอลกอฮอล์ แมนนิทอล เดกซ์แทรน เอสเทอร์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นที่ดีของผักดอง นอกจากนี้สารระเหยที่เกิดขึ้นมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อยีสต์ ส่วนเดกซ์แทรนและแมนนิทอลเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับแบคทีเรียพวก *Lactobacillus plantarum* โดยเฉพาะซึ่งมีผลต่อการหมักในช่วงต่อไป อย่างไรก็ตามในสภาพที่มีความเข้มข้นเกลือสูง (ร้อยละ 0.5) อาจมีแบคทีเรีย *Streptococcus faecalis* มาเกี่ยวข้องด้วย แต่เชื้อแบคทีเรียดังกล่าวผลิตกรดแลกติกเป็นส่วนใหญ่

3) การหมักช่วงสุดท้าย

แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดแลกติกที่ไม่สร้างก๊าซ (non gas forming lactobacilli) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Lactobacillus plantarum* เจริญต่อและสร้างกรดแลกติกออกมาจนมีความเข้มข้นร้อยละ 1.5 – 2.0 แบคทีเรียชนิดนี้สร้างกรดแลกติกออกมาเพียงชนิดเดียวจากการหมักน้ำตาล รวมถึงยังสามารถใช้แมนนิทอลที่สร้างจาก *Lactobacillus plantarum* ดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งช่วยลดรสขมของแมนนิทอลในกะหล่ำปลีได้ และ *Lactobacillus plantarum* นี้ก่อให้เกิดการหมักกะหล่ำปลีที่สมบูรณ์ และความเป็นกรดที่เป็นที่ยอมรับอยู่ในช่วงร้อยละ 1.7 (ในรูปกรดแลกติก) การหมักสิ้นสุดลงโดยนำกะหล่ำปลีต้องเปรี้ยวนี้มาผ่านความร้อนหรือนำไปแช่เย็น ลักษณะของกะหล่ำปลีต้องเปรี้ยวที่ดีต้องมีสีที่ยังสดใสและเนื้อที่กรอบ มีปริมาณกรดแลกติก ร้อยละ 1.7 ผลิตภัณฑ์มีความสะอาดและมีรสชาติเป็นกรด ปกติแล้วผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรดต่าง 3.4 – 3.6 กรดแลกติก กรดแอสติกและแอลกอฮอล์ร้อยละ 1.2 0.3 และ 0.58 ตามลำดับ

ในกรณีที่ใช้เกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.5 แทนเกลือเข้มข้นร้อยละ 2.5 หรือกรณีใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เชื้อแบคทีเรีย *Pediococcus cerevisiae* เจริญเด่น และทำหน้าที่หลักในการหมักแทนแต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ดีเท่ากับใช้สภาพปกติ

7.6.1.3 การเสื่อมเสียของกะหล่ำปลีต้องเปรี้ยว

- 1) เกิดสีคล้ำเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีของเหล็ก แทนนิน หรือเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์
- 2) เกิดสีชมพูเนื่องจากการเจริญของเชื้อยีสต์ *Rhodotorula*
- 3) สูญเสียความกรอบเนื่องจากเกิดการหมักที่ผิดปกติ เช่น มีอากาศเข้าไปในระหว่างการหมักหรือเกิดการหมักที่อุณหภูมิสูง
- 4) เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากแบคทีเรีย และเชื้อรา
- 5) มีรสชาติเปลี่ยนแปลงจนผู้บริโภคยอมรับไม่ได้ เกิดจากความผิดปกติของลำดับการเจริญของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในการหมัก

7.6.2. การผลิตไวน์

ไวน์เป็นผลิตภัณฑ์หมักต้องชนิดหนึ่ง การหมักที่เกิดแอลกอฮอล์ (alcoholic fermentation) กระบวนการหมักประเภทนี้อาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีอยู่ในยีสต์ตระกูล *Saccharomyces* เป็นสำคัญซึ่งเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสในสภาวะไร้อากาศจนได้แอลกอฮอล์ในที่สุดตามทฤษฎีแล้วการหมักก่อให้เกิดแอลกอฮอล์ขึ้นร้อยละ 51.1 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้ร้อยละ 43 และมีสารอื่น ๆ ปะปนด้วย นอกจากนี้น้ำตาลประมาณร้อยละ 1 ถูกนำไปใช้ในการเจริญสร้างเซลล์ของเชื้อยีสต์

ไวน์ หมายถึงเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักน้ำองุ่นที่แก่จัดหรือสุก แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตไวน์จากผลไม้ชนิดอื่น เช่น สับปะรด เสาวรส และลูกหม่อน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามโดยหลักการแล้วผลไม้เกือบทุกชนิดสามารถนำมาใช้หมักไวน์ได้ โดยผู้ผลิตสามารถปรับคุณภาพของน้ำผลไม้ในด้านค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาล และอาหารเสริมจึงส่งเสริมการเจริญของยีสต์ได้ ไวน์ที่ผลิตจากน้ำผลไม้ต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันในด้านสี กลิ่น และรสชาติ ไวน์มี 2 ประเภท คือไวน์ขาวและไวน์แดง ดังภาพที่ 7.7



(A)

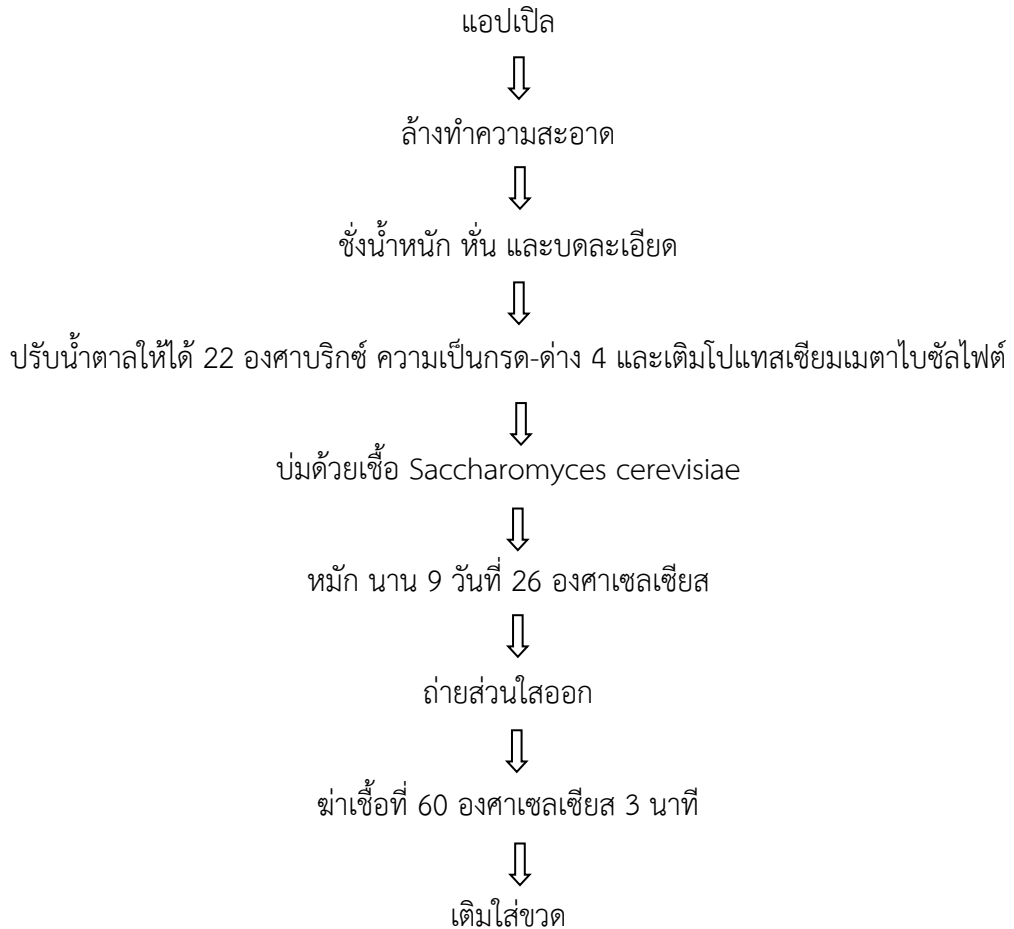
(B)

ภาพที่ 7.7 ความแตกต่างระหว่างไวน์แดง (A) และไวน์ (B)

ที่มา: Swami และคณะ (2014)

7.6.2.1 กรรมวิธีการผลิตไวน์

ขั้นตอนการผลิตไวน์ เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การทำความสะอาด การปรับส่วนของน้ำผลไม้หรือผลไม้บดหยาบ การฆ่าเชื้อน้ำผลไม้ การหมัก การตกตะกอนไวน์ การพาสเจอร์ไรส์ การบ่ม และการตรวจสอบคุณภาพของไวน์ ภาพที่ 7.8 การผลิตไวน์จากแอปเปิลโดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่แยกได้จากไวน์ปาล์ม โดยไวน์ที่ได้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 24.45 กรัมต่อลิตร และแอลกอฮอล์ร้อยละ 12.23 โดยรวมแล้วไวน์จากผลไม้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 7.8 กระบวนการผลิตไวน์แอปเปิล

ที่มา: Velić และคณะ (2018)

1) การเตรียมวัตถุดิบ ผลไม้ที่ใช้ผลิตไวน์ควรสุกจัด เพราะมีน้ำตาลอยู่มาก มีความเปรี้ยวต่ำ มีกลิ่นหอมของผลไม้สุกเต็มที่และผลไม้ที่นำมาผลิตต้องไม่มีส่วนที่เน่าเสียซึ่งหมายถึงการมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มาก อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียของไวน์ในระหว่างการหมักได้

2) การทำความสะอาด เมื่อคัดเลือกผลไม้ได้แล้วนำมาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่ติดมากับผลไม้ และยังเป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์เบื้องต้นด้วย

3) การเตรียมผลไม้สำหรับการหมัก ขั้นตอนนี้เป็นการทำงานให้ผลไม้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้่ายต่อการบิสดักน้ำผลไม้ เช่น สับประรดต้องปอกเปลือกก่อนแล้วสกัดน้ำ ส่วนองุ่นใช้ทั้งผลซึ่งอาจเด็ดขั้วก้านออกหรือไม่ก็ได้เนื่องจากผู้บริโภคบางกลุ่มนิยมรสฝาดของแทนนินที่มีในขั้วก้านและเมล็ดองุ่น แต่ถ้ามีแทนนินสูงมากเกินไป ไวน์ที่ได้มีรสฝาดจัดและมีสีคล้ำ การเตรียมผลไม้ให้มีสภาพเหมาะต่อการทำไวน์ มี 2 ลักษณะที่นิยมคือ

(1) สกัดเฉพาะน้ำหรือของเหลวมาทำการหมัก

(2) บดหยาบผลไม้แล้วนำไปทำการหมักซึ่งวิธีการนี้ไวน์ที่ได้มีกลิ่นและสีเข้มกว่าใช้น้ำผลไม้หมัก การสกัดน้ำผลไม้ต้องระวังไม่ให้เกิดการเติมออกซิเจนแก่น้ำผลไม้ เพราะทำให้สีของน้ำผลไม้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นสำคัญ

4) การปรับส่วนของน้ำผลไม้หรือผลไม้บดหยาบ น้ำผลไม้หรือน้ำผลไม้บดหยาบถูกปรับให้คุณภาพเหมาะต่อการหมักซึ่งหมายถึงการมีน้ำตาล กรด และอาหารเป็นการเสริมการเจริญของยีสต์ โดยทั่วไปไวน์ที่หมักได้มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 – 12 โดยปริมาตร น้ำผลไม้ที่ใช้ในการหมักมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 20 – 24 ขึ้นอยู่กับว่าต้องการไวน์ชนิดใด ถ้าเป็นไวน์ชนิดหวานควรปรับให้น้ำผลไม้มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 22 – 25 และไวน์ไม่หวานโดยน้ำผลไม้ที่ใช้หมักมีน้ำตาลร้อยละ 20 – 22 การเติมน้ำตาลในน้ำผลไม้มากเกินไปจนเกินไปทำให้ไวน์มีรสหวานจัดเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลตกค้างในผลมากเพราะยีสต์ที่ใช้หมักไวน์ส่วนมากถูกยับยั้งการเจริญเมื่อมีแอลกอฮอล์ในส่วนผสมสูงกว่าร้อยละ 18 น้ำผลไม้ที่ใช้ในการหมักไวน์ควรมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 3.3 – 4.0 หรือมีกรดร้อยละ 0.5 – 0.7 (ในรูปกรดทาร์ทาริก) โดยปกติแล้วน้ำผลไม้ทุกชนิดมีกรดอยู่ตามธรรมชาติ แต่ปริมาณและชนิดของกรดแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปริมาณกรดให้เหมาะสม ส่วนผลไม้บางชนิดมีกรดสูงเกินไปทำให้ได้ไวน์ที่มีรสเปรี้ยวซึ่งไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ซึ่งกรณีนี้ใช้น้ำสะอาดเจือจางน้ำผลไม้เพื่อให้ได้ปริมาณกรดตามต้องการ กรดที่นิยมเติมลงในน้ำผลไม้ เช่น กรดทาร์ทาริก กรดมาลิก หรือกรดซิตริกชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลาย

ชนิดรวมกัน ถ้าเติมกรดเพียงชนิดเดียวนิยมใช้กรดซิตริก แต่ถ้าต้องการเติมกรดหลายชนิดเพื่อให้ได้ ไวน์ที่มีรสชาติกลมกล่อมขึ้นนิยมใช้กรดที่มีอัตราส่วนของกรดทาร์ทาริกต่อกรดมาลิกต่อกรดซิตริก เท่ากับ 5:3:2 ในกรณีที่ปรับแตงน้ำผลไม้ให้มีปริมาณกรดไม่เกินร้อยละ 0.45 (ในรูปกรดทาร์ทาริก) หรือเป็น 3:5:2 เมื่อต้องการน้ำผลไม้ที่มีปริมาณกรดมากกว่าร้อยละ 0.45 (ในรูปกรดทาร์ทาริก) น้ำผลไม้บางชนิดเช่นน้ำองุ่นมีสารอาหารเสริมเพียงพอสำหรับการเจริญของยีสต์ แต่น้ำผลไม้บางอย่าง หรือน้ำผลไม้ที่ถูกเจือจางด้วยน้ำเพื่อลดปริมาณกรดนั้น มีสารอาหารเสริมการเจริญของยีสต์น้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแตงน้ำผลไม้ให้มีปริมาณไนโตรเจน กลือฟอสเฟต วิตามิน และกลือแร่อย่างเหมาะสมเพื่อสนับสนุนการเจริญของยีสต์

การเติมไนโตรเจนในการหมักไวน์ นิยมเติมในรูปของกลือแอมโมเนียมซัลเฟต ในความเข้มข้นร้อยละ 0.05 – 0.10 ของน้ำผลไม้ การเติมกลือฟอสเฟตเติมในกรณีที่ระหว่างการ หมักซึ่งยีสต์อาจหยุดการเจริญเนื่องจากขาดฟอสเฟตซึ่งกรณีนี้ใช้กลือฟอสเฟตเติมในไวน์ในปริมาณ 0.5 กรัมต่อไวน์ 1 แกลอน แล้วเขย่าแรงๆ ทิ้งไว้ระยะหนึ่ง ยีสต์ทำการหมักต่อไป แต่โดยปกติแล้ว น้ำผลไม้ไม่มีปริมาณกลือฟอสเฟตเพียงพอ

การเติมวิตามินบี 1 (thiamin) และแร่ธาตุต่าง ๆ เช่นแมกนีเซียม สังกะสี โคบอลต์ ไอโอดีน เหล็ก แคลเซียม ทองแดง ฟอสเฟต และกำมะถัน ในปริมาณไม่มากนักช่วยกระตุ้น การเจริญของยีสต์ช่วยให้กระบวนการหมักรวดเร็วขึ้น โดยปกติแล้วน้ำผลไม้ไม่มีวิตามินและกลือแร่ เหล่านี้อยู่บ้างแล้วแต่น้ำผลไม้ถูกเจือจางจึงจำเป็นต้องเติมลงไปเพิ่มซึ่งอาจใช้น้ำองุ่นที่มีวิตามิน และกลือแร่เหล่านี้สูงตามธรรมชาติ หรือยีสต์สกัด (yeast extract) เติมลงไปก็ได้

5) การฆ่าเชื้อน้ำผลไม้ น้ำผลไม้ที่เตรียมสำหรับการหมักเพื่อปรับแต่งคุณภาพ แล้ว ก่อนเข้าสู่ขบวนการหมักต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเสียก่อนซึ่งอาจใช้ความร้อนหรือสารเคมีได้ แต่การฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีนิยมมากกว่าเพราะทำให้สะดวกและได้ไวน์ที่มีกลิ่นรสและคุณภาพดีกว่า สำหรับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอาจทำให้ไวน์ที่ได้มีกลิ่นรสผิดปกติ และอาจทำให้เกิดการขุ่นได้ เนื่องจากมีสารประกอบเพกทินแขวนลอยอยู่ แต่เป็นวิธีที่สะดวกในกรณีที่ใช้น้ำผลไม้ในปริมาณไม่มากนัก และไม่มีอุปกรณ์ในการฆ่าดวงวัดที่ดีพอ การฆ่าเชื่อนิยมใช้อุณหภูมิ 70 – 100 องศาเซลเซียส นาน 10 – 15 นาที

การฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีในการผลิตไวน์นิยมใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือกลือที่สามารถแตกตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ เช่น โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์

และโซเดียมคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหมาะสมสามารถทำการฆ่าเชื้อได้ทั้งหมดไม่เหลือตกค้างมากอยู่ในช่วง 75 – 150 ส่วนในล้านส่วน แต่อาจใช้น้อยหรือสูงกว่านี้ขึ้นกับปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำผลไม้ และต้องเติมลงในผลไม้อย่างน้อย 6 ชั่วโมง ก่อนทำการหมัก เพื่อไม่ให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำลายยีสต์ที่ใช้ในการหมัก โดยปกติเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำผลไม้ไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงค่อยเติมยีสต์

ข้อควรระวังในการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์คือต้องคำนวณปริมาณที่ใช้ให้ถูกต้องเพราะถ้าผิดพลาดเกิดความเสียหายขึ้นมาก ถ้าหากเติมน้อยเกินไปอาจเสียได้แต่ถ้ามากเกินไปเชื้อยีสต์เจริญได้น้อยหรือไม่เจริญเลย และมีกลิ่นซัลเฟอร์ไดออกไซด์รุนแรงอีกด้วย ข้อดีของการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์คือช่วยลดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลของไวน์

6) การเตรียมสตาร์ทเตอร์ (starter) เป็นการเตรียมยีสต์ให้มีสภาพพร้อม (active) ที่หมักกับน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้ได้ทันที ยีสต์ที่มีใช้ในการหมักไวน์คือ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งวิธีการเตรียมคือนำน้ำผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อข้างต้นประมาณร้อยละ 10 เติมเชื้อยีสต์ที่ต้องการใช้ลงไปแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 20 – 32 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง เชื้อยีสต์เจริญอย่างรวดเร็ว พร้อมที่ผสมกับน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้

7) การหมักไวน์ ผลไม้บดหยาบในการหมักหลังการเติมสตาร์ทเตอร์แล้วให้บรรจุลงในภาชนะปากกว้างเพื่อให้การหมักในช่วงแรกเป็นการหมักแบบใช้อากาศ แต่ต้องปิดปากภาชนะด้วยผ้าขาวบางประมาณ 5 – 6 ชั้น เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสิ่งสกปรก หมักที่อุณหภูมิ 15 – 20 องศาเซลเซียส คนหรือกวนทุกวันเป็นเวลา 3 – 5 วัน หรือจนกระทั่งมีของแข็งที่ละลายลดลงเหลือประมาณ 10 องศาบริกซ์ แล้วแยกกากออกนำเฉพาะที่เป็นของเหลวไปหมักในสภาพไร้อากาศต่อไป

ในกรณีใช้น้ำผลไม้ในการหมักหลังจากเติมสตาร์ทเตอร์แล้วหมักในสภาพไร้อากาศทันทีซึ่งทำโดยบรรจุส่วนผสมลงในภาชนะหมักไวน์ซึ่งเป็นขวดคอแคบ ปิดผนึกปากภาชนะด้วยระบบที่สามารถป้องกันการเติมออกซิเจนลงไปผสม แต่สามารถระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (water seal หรือ air lock) หรือเรียกสั้นๆ ว่าช่องระบายก๊าซซึ่งเกิดในระหว่างการหมักได้ การหมักสภาพน้ำควรทำที่อุณหภูมิต่ำ แต่ไม่ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส จนกระทั่งการหมักยุติลง ซึ่งสังเกตได้จากการที่ไม่มีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปรากฏในช่องระบายก๊าซต่อไป ใช้เวลาประมาณ 4 – 5 สัปดาห์

8) การตกตะกอนไวน์ และการพาสเจอร์ไรซ์ เมื่อกระบวนการหมักยุดีแล้วไวน์ที่ได้ไม่ใสเท่าที่ควรเนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น เซลล์ของยีสต์ สารประกอบโปรตีน เพกทิน แววนลอยอยู่ และผลึกของโปแทสเซียม เป็นต้น ดังนั้นการกำจัดสิ่งเหล่านี้ไปให้หมดเพื่อให้ได้ไวน์ที่มีความใสขึ้นการทำไวน์ให้ใสสามารถทำได้โดยการกรอง การใช้สารตกตะกอนได้แก่ เบนโทไนท์ (bentonite) เจลาติน (gelatin) เคซีน (casein) อัลบูมิน (albumin) หรือไข่ขาว เป็นต้น เมื่อส่วนที่เป็นของเหลวใสดีแล้วจึงถ่ายไวน์ที่ใสโดยวิธีกาลักน้ำ (siphoning) ลงในขวดที่สะอาดปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ปิดขวดด้วยจุกไม้คอร์ก

9) การบ่มไวน์ เป็นการปรับปรุงให้ไวน์มีรสชาติกลมกล่อมมากขึ้น เนื่องจากไวน์ที่หมักเสร็จแรกๆ มีกลิ่นรสไม่ดีเท่าที่ควร เช่น มีกลิ่นยีสต์ (yeasty) รุนแรง เป็นต้น ดังนั้นจึงนิยมบ่มไวน์ก่อนนำมาบริโภค โดยการเก็บไวท์ที่อุณหภูมิ 10 – 15 องศาเซลเซียส บ่มนานเพียงใดขึ้นกับชนิดของไวน์ซึ่งอาจยาวนานถึง 2 ปี ไวน์ที่ผ่านการบ่มอย่างเหมาะสมมีกลิ่นรสดีขึ้นเป็นอย่างมาก กลไกการเปลี่ยนแปลงนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใด

7.6.2.2 ความบกพร่องของไวน์

ความบกพร่องของไวน์มี 2 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ และที่เกี่ยวกับจุลินทรีย์ ดังนี้

1) ความบกพร่องของไวน์ที่ไม่มีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ เนื่องมาจากโลหะหรือเกลือของโลหะ เอนไซม์ หรือสารที่ใช้ในการทำไวน์ใส

(1) โลหะ ตัวอย่างที่พบได้แก่ เหล็ก ซึ่งอาจก่อให้เกิดการตกตะกอนสีเทาหรือสีดำ เป็นต้น ในไวน์ขาวอาจมีการตกตะกอนสีขาวของเกลือฟอสเฟต (ion phosphate) สำหรับโลหะชนิดอื่นที่มีผลเสียแก่ไวน์ ได้แก่ ดีบุก ทองแดง และเกลือของโลหะทั้งสองชนิดนี้ โดยเป็นสาเหตุของความขุ่นของไวน์

(2) เอนไซม์ อาจมีผลต่อการเปลี่ยนสีหรือการตกตะกอนของสีของไวน์ เช่น ไวน์ขาว อาจเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และไวน์แดงอาจเกิดการตกตะกอนสีทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสซึ่งผลิตขึ้นมาจากเชื้อรา

(3) สารที่ใช้ทำให้ไวน์ใส เช่น เจลาติน สารนี้อาจทำให้ไวน์ขุ่นได้ หากเติมในปริมาณที่มากเกินไป

2) ความบกพร่องที่มีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ป่า (wild yeast) เชื้อรา และแบคทีเรียสายพันธุ์แอซิโตแบกเตอร์ แล็กโตบาซิลลัส ลิวโคโนสโตก และอาจมี *Micrococcus* และ *Pediococcus* ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในไวน์ดังนี้

(1) ความเป็นกรดต่าง หรือค่าความเป็นกรด-ต่าง ไวน์ที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างต่ำมีโอกาสนในการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ลดลง ส่วนค่าความเป็นกรด-ต่างที่ต่ำที่สุดที่เกื้อหนุนต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในไวน์ขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ ชนิดของไวน์ และปริมาณแอลกอฮอล์เป็นสำคัญ ในกรณีของเชื้อรา ยีสต์และแบคทีเรียที่สร้างกรดแอซิดิก อาจยังสามารถเจริญในไวน์ได้ที่ระดับความเป็นกรด-ต่างปกติได้ ส่วนแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติกสามารถทนกรดในไวน์ได้ถึงค่าความเป็นกรด-ต่างเท่ากับ 3.3 – 3.5 เป็นต้น

(2) ปริมาณน้ำตาลที่เหลือในไวน์ ปกติไวน์มีน้ำตาลเหลือประมาณร้อยละ 0.5 – 1 หรืออาจมากกว่าทำให้การเสื่อมเสียของไวน์เนื่องจากจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ง่าย

(3) ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในไวน์ จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียในไวน์ มีความสามารถทนต่อความเข้มข้นของแอลกอฮอล์แตกต่างกัน กล่าวคือจุลินทรีย์เหล่านี้ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตในไวน์ที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูงกว่าร้อยละ 18

(4) ความเข้มข้นของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ตามปกติแบคทีเรีย *Acetobacter* สามารถสร้างวิตามินของมันเป็นเองขึ้นได้ แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติกไม่สามารถสร้างได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากภายนอกเซลล์คือไวน์นั่นเองซึ่งแหล่งของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในไวน์มาจากเซลล์ยีสต์ที่ใช้ในการหมักเอง ภายหลังจากที่เซลล์ยีสต์เกิดการย่อยสลายตัวเองสารอาหารที่สมบูรณ์จากยีสต์ละลายอยู่ในไวน์ซึ่งมีสารเหล่านี้มากยิ่งขึ้นทำให้โอกาสการเสื่อมเสียเนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์มากขึ้น

(5) ความเข้มข้นของแทนนิน ในการทำให้ไวน์ใสใช้แทนนินควบคู่กับเจลาตินเพื่อให้แทนนินส่งผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ในทางปฏิบัติแทนนินที่เติมลงไปไม่เพียงพอที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

(6) อุณหภูมิในการเก็บรักษา จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียเจริญได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 20 – 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการเก็บรักษาถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำทำให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง

(7) อากาศ ถ้าป้องกันไม่ให้มีอากาศในโวน์สามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศได้ เช่น เชื้อรา ฟิล์มยีสต์ (film yeast) และ *Acetobacter* ได้ แต่ทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติกสามารถเจริญได้ดี

7.6.2.3 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของโวน์

โวน์อ่อนุ่นที่หมักระยะเวลา 16 วัน มีกรดต่างเท่ากับ 3.27 ปริมาณกรดร้อยละ 6.30 น้ำตาลรีดิวซ์ 1.33 กรัมต่อลิตร และให้แอลกอฮอล์ที่มีคุณภาพดี ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ลักษณะคุณภาพทางกายภาพและเคมีของโวน์อ่อนุ่น

คุณภาพ	ปริมาณ
ความเป็นกรด-ด่าง	3.27
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละกรดทาร์ทาริก)	6.30
กรดแอสติก (ร้อยละ)	0.40
กรดทาร์ทาริก (กรัมต่อลิตร)	2.63
กรดมาลิก (กรัมต่อลิตร)	3.16
กรดซิตริก (กรัมต่อลิตร)	0.58
น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	1.33
แอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	16
การนำไฟฟ้า (โมโคซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)	1.55
ความเข้มของสี	0.085
ความสว่าง (L*)	99.10
สีแดง (a*)	-1.52
สีเหลือง (b*)	6.42

ที่มา: Cortiella และคณะ (2020)

7.6.3 การผลิตน้ำส้มสายชู

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลลัพธ์ของการหมักให้เกิดกรดแอสติคที่สำคัญคือน้ำส้มสายชูหมักซึ่งจัดเป็นเครื่องปรุงรสที่ผลิตมาจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลหรือแป้ง โดยอาศัยการหมักแอลกอฮอล์ก่อนแล้วตามด้วยการหมักในสภาพที่มีอากาศ โดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแอสติคน้ำส้มสายชูที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต้องมีปริมาณกรดแอสติคอย่างน้อย 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

7.6.3.1 กระบวนการหมักน้ำส้มสายชู

กระบวนการหมักน้ำส้มสายชูประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์

การหมักแบบนี้เป็นการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยอาศัยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ภายใต้สภาพไร้อากาศ ซึ่งในระหว่างการเปลี่ยนแปลงจากกลูโคสเป็นแอลกอฮอล์ มีขั้นตอนการเกิดขึ้นเป็นลำดับหลายขั้นตอน และมีผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ผลิตขึ้นมาแต่ในปริมาณเล็กน้อยเช่น กลีเซอรอล กรดแอสติค และเอมิลแอลกอฮอล์ (amyl alcohol) เป็นต้น น้ำผลไม้ที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูควรเตรียมให้มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 13 – 17 ทั้งนี้เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหมักมีแอลกอฮอล์ในสารละลายประมาณร้อยละ 6 – 8 ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่แบคทีเรียกลุ่ม *Acetobacter* เจริญได้ดี

2) การหมักเพื่อให้ได้กรดแอสติค

การหมักเป็นการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดแอสติคโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการอากาศ และอาศัยแบคทีเรียที่สร้างกรดแอสติค คือแบคทีเรียในตระกูล *Acetobacter* เช่น *A. aceti*, *A. xylinum*, *A. pasteurianu* และ *A. peroxydans* เป็นต้น ปริมาณของกรดแอสติคที่ได้หลังการหมักอาจมีปริมาณน้อยทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสติคเป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย สภาพการหมักแบบมีอากาศส่งเสริมการเจริญของเชื้อราบางชนิดที่สามารถใช้กรดแอสติคได้ รวมทั้งเกิดกระบวนการออกซิเดชันอย่างต่อเนื่องเปลี่ยนกรดแอสติคไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น ในกระบวนการหมักขั้นนี้นอกจากเกิดกรดแอสติคแล้ว ผลิตภัณฑ์อื่นที่ถูกผลิตออกมาด้วยเช่น อัลดีไฮด์ เอสเทอร์ เป็นต้น แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย

7.3.3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชู

1) การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ผลไม้ทุกชนิด หรือสารประกอบอื่น ๆ ที่สามารถหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้ รวมทั้งกากที่เหลือจากการสกัดน้ำผลไม้หรือส่วนที่เหลือใช้จากการผลิต เช่น แขนสับปะรด เป็นต้น โดยนำมาสกัดน้ำซ้ด้วยการเติมน้ำในวัตถุดิบเหล่านี้แล้วสกัดน้ำซ้อีกครั้งหรือถ้าเป็นวัตถุดิบพวกแป้งต้องนำแป้งนั้นไปผ่านการให้ความร้อนเพื่อให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ก่อน แล้วย่อยสลายแป้งนั้นด้วยเอนไซม์เพื่อผลิตน้ำตาลที่สามารถหมักได้

น้ำผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักนี้ต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำตาลให้อยู่ในช่วงร้อยละ 13 – 17 ซึ่งเมื่อสิ้นสุดขบวนการหมักได้แอลกอฮอล์ในสารละลายประมาณร้อยละ 6 – 8 โดยเป็นระดับความเข้มข้นที่แบคทีเรียกลุ่ม *Acetobacter* เจริญได้ดี

2) การหมัก

การหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูนี้ประกอบไปด้วยการหมัก 2 ครั้ง คือหมักเพื่อให้เกิด แอลกอฮอล์ และหมักเพื่อให้เกิดกรดแอซิติก

(1) การหมักครั้งที่ 1 เป็นการหมักเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์

ลักษณะการหมักเหมือนกับการหมักไวน์โดยทั่วไป ซึ่งเป็นการหมักในสภาพไร้อากาศด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งในการหมักขั้นตอนนี้ ถ้าหากมีการปนเปื้อนของเชื้อ *Acetobacter* ที่ไม่ต้องการและสามารถผลิตกรดแอซิติกได้ร้อยละ 0.5 สามารถยับยั้งการเจริญของ *Saccharomyces cerevisiae* ได้ ดังนั้นต้องมีการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (125 ส่วนในล้านส่วน) หรือไบซัลไฟต์ในปริมาณที่เท่าเทียมกัน เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา ยีสต์ป่า *Acetobacter* และแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติก ทั้งนี้ต้องเติมลงในวัตถุดิบก่อนเติมเชื้อยีสต์ประมาณ 2 – 6 ชั่วโมง เมื่อกระบวนการที่เกิดแอลกอฮอล์นี้สิ้นสุดลง การกรองแยกตะกอนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั่วไปเพราะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีแก่น้ำส้มสายชูได้ แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวใส่นี้ไปหมักในครั้งที่ 2 ต่อไป

(2) การหมักครั้งที่ 2 เป็นการหมักเพื่อให้เกิดกรดแอซิติก

การหมักในสภาพที่มีอากาศโดยอาศัยแบคทีเรียแอซิโตแบคเตอร์ ซึ่งทั่วไปพบเพียง 3 สายพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกรดแอซิติกได้แก่ *Acetobacter aceti*, *A. pasteurianus* และ *A. peroxydans* การหมักเริ่มจากนำส่วนใสที่ได้จากการหมักครั้งที่ 1 มาหมัก

กับเชื้อ *Acetobacter* ที่คัดเลือกแล้ว ภายใต้สภาวะที่มีอากาศได้กรดแอซิติกตามต้องการ อัตราการเปลี่ยนแปลงของแอลกอฮอล์ไปเป็นกรดแอซิติกขึ้นกับสภาพความพร้อมของจุลินทรีย์ที่ใช้ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในของเหลวที่ใช้หมัก อุณหภูมิการหมัก และปริมาณออกซิเจนที่ถูกเติมในระหว่างการหมัก

สภาพความพร้อมของจุลินทรีย์ที่ใช้ เมื่อกระบวนการหมักทำให้เกิดแอลกอฮอล์เสร็จสิ้นลงใหม่ ๆ ปริมาณของเชื้อ *Acetobacter* มีอยู่น้อยมากในน้ำผลไม้และอยู่ในสภาพพักตัว ดังนั้นจึงให้เติมเชื้อ *Acetobacter* ที่ต้องการลงไปเพิ่ม วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปคือการเติมน้ำส้มสายชูหมักก่อนซึ่งมีเชื้อ *Acetobacter* อยู่เป็นจำนวนมากลงไปประมาณร้อยละ 20 ของของเหลวที่ใช้หมัก หรือเติมสตาร์ทเตอร์ที่มีเชื้อ *Acetobacter* ที่มีความพร้อมที่เจริญได้ กรรมวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสตาร์ทเตอร์ของการทำไวน์

ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในของเหลวที่ใช้หมัก ปกติแล้วของเหลวที่ใช้หมักควรมีแอลกอฮอล์ร้อยละ 6 – 8 เพราะเป็นระดับความเข้มข้นที่เชื้อ *Acetobacter* สามารถเจริญได้ดี ถ้าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์สูงกว่าร้อยละ 12 ทำให้การหมักช้าลง เนื่องจากแอลกอฮอล์มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ การหมักที่มีปริมาณแอลกอฮอล์เริ่มต้นร้อยละ 6 – 8 เมื่อการหมักยุติลงได้กรดแอซิติกประมาณร้อยละ 7.2 – 9.6 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สูงกว่าร้อยละ 4 ตามขั้นต่ำของกฎหมายที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงนิยมหยุดการหมักเมื่อปริมาณของกรดแอซิติกเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 4–5 โดยยังคงเหลือแอลกอฮอล์ตกค้างในผลิตภัณฑ์ หรือเมื่อมีกรดแอซิติกสูงมากแล้วสามารถนำสารละลายที่ได้จากการหมักมาเจือจางด้วยน้ำเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของกรดแอซิติกตามที่ต้องการ ซึ่งตามกฎหมายนั้นไม่นับว่าเป็นการปลอมปน แต่ต้องมีการระบุให้ทราบว่ามีการเจือจางในขั้นตอนการผลิต

อุณหภูมิในระหว่างการหมักเชื้อ *Acetobacter* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 20 – 35 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้สัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ถูกเติมลงในถังหมักด้วยเช่นกัน

ปริมาณออกซิเจนที่ถูกเติมในระหว่างการหมักต้องมีปริมาณสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ไปเป็นกรดแอซิติกได้เร็วขึ้น แต่ข้อพึงระวังเนื่องจากออกซิเจนสนับสนุนการเจริญของเชื้อราที่สามารถใช้กรดแอซิติกที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนี้ ออกซิเจนยังทำให้เกิดการออกซิไดส์กรดแอซิติกไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำได้ ดังนั้นการเติมออกซิเจนในการหมักต้องควบคุม

อย่างดียิ่งทำให้การหมักเป็นไปตามต้องการ การหมักครั้งที่ 2 นี้มีกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม สามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

วิธีแรกคือกระบวนการผลิตแบบออเลี่ยน (orleans process) โดยเติมไวน์ (ปริมาณ 1 ใน 4 ของถัง) ลงไปในน้ำส้มสายชูใหม่ที่อยู่ในถัง น้ำส้มสายชูยังคงมีเชื้อ *Acetobacter* ซึ่งช่วยป้องกันการเจริญของฟิล์มยีสต์ได้ทำให้แอลกอฮอล์ในไวน์ที่เติมลงไปไม่สูญเสียไปจากฟิล์มยีสต์ สำหรับปริมาณของน้ำหมักที่ใช้เท่ากับสามในสี่ของถัง และการบ่มใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 21.1 – 26.7 องศาเซลเซียส ในถังหมักนี้ปกติมีชั้นไม้เรียงไว้เพื่อให้เชื้อ *Acetobacter* เจริญเป็นแผ่นฟิล์มขึ้นตามผิวของชั้นไม้ซึ่งทำให้ *Acetobacter* ได้รับออกซิเจนเพียงพอที่เปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดแอสติค หลังการหมัก 3 เดือน แอลกอฮอล์ที่เติมลงไปถูกเปลี่ยนเป็นน้ำส้มสายชู ดังนั้นน้ำหมักหรือของเหลวที่ได้จากการหมักถูกแยกออกมา 1/4 ถึง 1/3 ของถัง จากนั้นจึงมีการเติมไวน์หรือแอลกอฮอล์ใหม่ลงไปเพื่อเริ่มต้นการหมักอีกครั้ง

วิธีที่สองคือกระบวนการผลิตแบบเร็ว (quick process) เป็นการหมักในถังหมักที่ออกแบบพิเศษซึ่งในถังหมักบรรจุเศษไม้ไว้เต็ม เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากที่สุดให้เชื้อ *Acetobacter* เจริญที่ผิวของเศษไม้และได้สัมผัสกับไวน์ (ซึ่งมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 10) อย่างเต็มที่ การผ่านไวน์ในถังหมักชนิดนี้สร้างน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 – 4 อย่างไรก็ตามกรรมวิธีนี้สามารถทำซ้ำเพื่อให้ได้ความเป็นกรดตามที่ต้องการได้

วิธีที่สามคือกระบวนการหมักแบบรวดเร็ว กรรมวิธีนี้อาศัยถังหมักที่ออกแบบโดยเฉพาะมีระบบให้อากาศที่สมบูรณ์ การหมักกระทำในสภาพของเหลวที่มีการให้อากาศเข้าไปทำให้เชื้อ *Acetobacter* สามารถสัมผัสและใช้แอลกอฮอล์ในถังหมักได้อย่างเต็มที่จนสามารถเพิ่มผลผลิตได้ถึงร้อยละ 98

3) การบ่มและการทำให้ใส (aging and clarification)

เมื่อสิ้นสุดขบวนการหมักแล้วน้ำส้มสายชูที่ได้ถูกนำไปบ่มเป็นเวลานานพอสมควรเพื่อให้มีการสร้างเอสเทอร์ขึ้นมาจากนั้นจึงนำไปกรองเพื่อให้ใส

4) การบรรจุและการพาสเจอไรส์

น้ำส้มสายชูที่ได้นำมาพาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิ 60 – 65 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 – 3 วินาที เพื่อทำลายเชื้อ *Acetobacter* ที่มีอยู่ในน้ำส้มสายชู แล้วนำไปบรรจุในขวดขณะร้อนจากนั้นปิดผนึกปากขวดให้แน่นสนิท น้ำส้มสายชูที่ได้สามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน

ความบกพร่องของน้ำส้มสายชู โดยยีสต์ *Hansenula apiculata* สามารถสร้างกรดแอซีติกได้ซึ่งเพียงพอต่อการยับยั้งการเจริญของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* จึงทำให้เกิดปัญหาในช่วงการหมักครั้งที่ 1 เพื่อผลิตแอลกอฮอล์ ส่วนในช่วงการหมักครั้งที่ 2 นั้นอาจเกิดจากการปนเปื้อนของฟิล์มยีสต์ขึ้นมาได้ อย่างไรก็ตามฟิล์มยีสต์นี้สามารถป้องกันได้ด้วยการเติมกรดแอซีติกความเข้มข้นร้อยละ 1 ลงไปในน้ำหมัก

7.7 บทสรุป

การหมักต้องเป็นการใช้อาหารในเกลือหรือน้ำเกลือ หรือน้ำส้มสายชูโดยความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ การผลิตผักและผลไม้ต้องมีขั้นตอนการรับวัตถุดิบ ทำความสะอาด เตรียมวัตถุดิบด้วยการแช่ในสารละลายที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมเพื่อเพิ่มความกรอบ บรรจุในภาชนะ เตรียมน้ำดองและกล้าเชื้อเมื่อต้องการให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและคุณภาพสม่ำเสมอ การดองแบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่ การดองเค็มมี 2 แบบคือการดองเค็มที่แช่ผักผลไม้ในน้ำเกลือเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 15 และการดองเค็มแบบการหมักแห้ง การดองเปรี้ยว แบ่งเป็น 2 แบบ แบบแรกคือการใช้น้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 5-8 หมักอาหารไว้ 3-5 วัน แบบที่สองคือการใช้อาหารในน้ำส้มสายชู ส่วนประเภทสุดท้ายคือการดองปรุงรส ด้วยการใช้ผักและผลไม้ผ่านการดองเค็มหรือดองเปรี้ยวมาปรุงรสใหม่ การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักต้องแบ่งเป็น 3 ช่วงคือช่วงแรกใช้จุลินทรีย์จากธรรมชาติในการหมัก ช่วงกลางของการหมักเชื้อแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* เริ่มเจริญแทนที่แบคทีเรียตัวอื่น และเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลกติก กรดแอซีติก แอลกอฮอล์ และสารอื่นๆ และช่วงสุดท้ายแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดแลกติกเจริญต่อและสร้างกรดแลกติกออกมาจนได้ความเข้มข้นร้อยละ 1.5-2.0 การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่ผ่านการดองส่วนใหญ่บรรจุในกระป๋องหรือขวดแก้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิต่ำได้นาน

แบบฝึกหัด

1. อธิบายหลักการแปรรูปผักและผลไม้โดยการหมักดอง
2. ประเภทของการหมักดองผักและผลไม้มีกี่ประเภท อะไรบ้าง
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก
4. ลักษณะการเสื่อมเสียของกะหล่ำปลีดองเปรี้ยวเป็นอย่างไร
5. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในไวน์คืออะไร
6. การผลิตน้ำส้มสายชูมีขั้นตอนและวิธีการผลิตอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

- กันฐวุฒิ บุญมี, และกฤตพร ลำจวนเกียรติ. (2562). การเตรียมกล้าเชื้อผงสำหรับการผลิตผักกาดดอง. ใน *การประชุมระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 6 ประจำปี พ.ศ. 2562* (หน้า 282–291). นครราชสีมา: วิทยาลัยนครราชสีมา.
- นิษฐกานต์ ประดิษฐ์ศรีกุล. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักกาดเขียวปลีดองเปรี้ยว และกิมจิในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ* (รายงานผลการวิจัย). อยุธยา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสุพรรณภูมิ.
- Cortiella, M.G., Úbeda, C., Covarrubias, J.I., & Peña-Neira, A. (2020). Chemical, physical, and sensory attributes of Sauvignon Blanc wine fermented in different kinds of vessels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102521>.
- Swami, S.B., Thakor, N.J., & Divate, A.D. (2014). Fruit wine production: A Review. *Journal of Food Research and Technology*, 2(3), 93–100.
- Velić, D., Velić, N., Klarić, D. A., Klarić, I., Tominac, V. P., Košmerl, T., & Vidrih, R. (2018). The production of fruit wines-a review. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 10(2), 1–12. <https://doi.10.17508/CJFST.2018.10.2.19>

บทที่ 8 การแปรรูปผักและผลไม้โดยการทำแห้ง

การแปรรูปผักและผลไม้โดยการทำแห้งเป็นการถนอมอาหารมาตั้งแต่ดั้งเดิมด้วยการใช้แสงอาทิตย์ในการตากแห้งให้อาหารหลังทำแห้งมีความชื้นต่ำ การทำแห้งนอกจากเป็นการแปรรูปอาหารแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบรรจุ การเก็บรักษา การขนส่ง และการวางจำหน่าย เนื่องจากหลังทำแห้งอาหารมีปริมาณน้อยลง อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบา และเก็บได้นานขึ้น ขั้นตอนการทำแห้งตั้งแต่การเตรียม การหั่น การลดการเกิดสีน้ำตาล และการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การทำแห้งแบบประเหิด และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

8.1 หลักการแปรรูปผักและผลไม้โดยการทำแห้ง

การอบแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่เก่าแก่มากที่สุดวิธีหนึ่ง แต่ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงวิธีการผลิต และคุณภาพของอาหารอบแห้งให้ดีขึ้น มีประสิทธิภาพการคั้นตัว สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น รวมทั้งมีการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร อบแห้งให้สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับผลิตภัณฑ์ได้สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น ผักและผลไม้ที่นิยมนำมาแปรรูปโดยการอบแห้งมีหลายชนิด เช่น หน่อไม้ เห็ดหอม ลำไย เห็ดหูหนู กลัวย สับปะรด องุ่น หอมหัวใหญ่ ใบหอม มันฝรั่ง เซอเลอรี พริกยักษ์ แครอท มะละกอ และกะหล่ำปลี เป็นต้น

การอบแห้งคือ การลดความชื้นในอาหาร หรือการลดค่า a_w ของอาหาร ค่า a_w มาจากคำว่า water activity หมายถึงปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ ในอาหารทุกชนิดมีน้ำเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน อาหารที่มีน้ำมากเกิดการเสื่อมคุณภาพเร็ว น้ำที่มีอยู่ในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ น้ำอิสระซึ่งเป็นน้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในเซลล์พืชบริเวณไซโทพลาซึม ช่องว่างระหว่างเซลล์ ท่อส่งน้ำ ท่ออาหาร น้ำอิสระสามารถดึงออกจากอาหารได้ง่ายโดยใช้พลังงานความร้อนและแสงในช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่ น้ำส่วนนี้จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญและสืบพันธุ์ มีบทบาทต่อการถนอมอาหารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และน้ำไม่อิสระเป็นน้ำที่โมเลกุลไปเกาะเกี่ยวกับโมเลกุลของสารเคมี หรือสารประกอบอื่นในอาหารด้วย

พันธุ์ต่าง ๆ เช่น พันธุ์ไฮโดรเจน พันธุ์แวนเดอร์วาลส์ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรง และความยากง่ายในการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของสารอื่น

8.2 กรรมวิธีการแปรรูปผักและผลไม้อบแห้ง

ผักและผลไม้แห้งสามารถทำได้ง่าย ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก แต่ต้องควบคุมเรื่องความสะอาด ความชื้นของอาหารหลังจากอบแห้งแล้วไม่ควรเกินร้อยละ 6 การทำผักและผลไม้แห้งนั้นมีหลายขั้นตอนดังนี้

8.2.1 การเตรียมผักและผลไม้

ผักและผลไม้นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก ตัดแต่งตามขนาดที่กำหนด โดยผักสีเขียวนิยมแช่ในสารละลายคาร์บอเนตเพื่อรักษาสีเขียว ผักและผลไม้ที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจากการทำงานของเอนไซม์นิยมแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1 หรือกรดซิตริกร้อยละ 0.5 หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.1 ระหว่างการแปรรูป

8.2.2 การลวก

การใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนในการลวกโดยเฉพาะผักส่วนมากนิยมนำไปลวกก่อนการนำไปประเหยน้ำเพื่อทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี รสชาติ และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ข้อดีของการลวกผักได้แก่ การช่วยให้เนื้อเยื่อออกจากผักได้ง่ายขึ้นเพราะเซลล์บางส่วนถูกทำลายจากความร้อน อีกทั้งช่วยกำจัดกลิ่นฉุนในหอมหัวใหญ่ทำให้สามารถเก็บรักษาแคโรทีน และกรดแอสคอร์บิกในระหว่างการเก็บรักษาได้ดีขึ้น ก่อนทำการลวกอาจมีการแช่ด้วยกรดซิตริกเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เช่น ผลิตภัณฑ์อบแห้งพร้อมปรุงจากดอกกล้วย มีการแช่ดอกกล้วยที่ตัดเป็นชิ้นขนาด 3 มิลลิเมตรในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.2 นาน 30 นาที ก่อนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ลักษณะที่ปรากฏ รสชาติ และคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บไว้ถุงอลูมิเนียมฟอยล์เคลือบด้วยโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (AV/HDPE) ได้นานกว่าหนึ่งเดือน (Wickramarachchi และ Ranamukhaarachchi, 2005) ส่วนผลไม้ไม่นิยมลวกเพราะทำให้เกิดกลิ่นรสสุกซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การทำให้เย็นหลังการลวกไม่นิยมใช้น้ำเย็นเพราะทำให้ปริมาณน้ำตกค้างในผัก

สูงเกินไป ดังนั้นการทำให้เย็นนิยมใช้ลมเย็นเป่าผ่านผักนั้น ๆ เพื่อลดอุณหภูมิของผักก่อนนำไปทำการระเหยนํ้าต่อไป

8.2.3 การปรับปรุงคุณภาพผักและผลไม้ก่อนอบแห้ง

การปรับปรุงคุณภาพของผักและผลไม้ก่อนนำมาอบแห้งนั้นนิยมใช้วัตถุเจือปนอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสงวนคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ยืดอายุการเก็บรักษาหรือช่วยให้อาหารนั้นมีคุณภาพคงที่หรือช่วยปรับปรุงคุณภาพในด้านเกี่ยวกับสี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ หรือคุณค่าอาหาร และเพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป กรรมวิธีการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่ง และอายุของการเก็บของผลิตภัณฑ์ ชนิดของสารเจือปนที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ มีดังนี้

8.2.3.1 กรด

การใช้กรดในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้เพื่อช่วยปรับปรุงกลิ่น รส และยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้เก็บผลิตภัณฑ์นั้นได้นานขึ้น นอกจากนี้กรดยังช่วยลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการแปรรูปของผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้ การเลือกใช้กรดขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่มีอยู่มากในผลไม้หรือผักนั้น ๆ ผลไม้ทั่วไปส่วนมากมีกรดซิตริก (กรดมะนาว) องุ่นมีกรดทาร์ทาริก (หรือเรียกว่ากรดมะขาม) เป็นต้น

8.2.3.2 สารที่ให้ความคงรูปกับผลิตภัณฑ์

การใช้สารที่ให้ความคงรูปกับผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ให้ดีขึ้น สารคงรูปที่รู้จักกันดั้งเดิมคือ ปูนขาว ปูนแดง และสารส้มแต่เนื่องจากสารเหล่านี้มีองค์ประกอบอื่นที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้จึงใช้แคลเซียมคลอไรด์ทดแทนซึ่งสะดวก และง่ายต่อการใช้งาน

8.2.3.3 สารที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

ส่วนมากใช้วัตถุเจือปนอาหารเพื่อป้องกันปฏิกิริยาดังกล่าว ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบซัลไฟต์

8.2.3.4 วัตถุกันเสีย

วัตถุกันเสียเป็นสารประกอบเคมีที่ช่วยในการถนอมหรือยืดอายุการเก็บอาหาร หรือช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเสียของผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้ สารกันเสียที่ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพผักและผลไม้อบแห้ง มีดังนี้

1) โซเดียมไบคาร์บอเนต (ผงโซดา) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างอ่อน นิยมเติมลงไปใต้น้ำลวกหรือน้ำแช่หลังลวก จุดประสงค์เพื่อปรับสภาพน้ำลวกให้เป็นด่าง ช่วยรักษาสี ให้คงความเขียวสดปริมาณที่ใช้ประมาณร้อยละ 0.5 นาน 5 นาที (คือ น้ำ 1 ลิตร ใช้ 5 กรัม)

2) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ใช้เกรดสำหรับอาหาร เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติช่วย ป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อราในผักและผลไม้ นอกจากนี้ช่วยให้ผลไม้คงสีธรรมชาติไว้ มักผสมลงไปใต้น้ำเชื่อมร่วมกับกรดซิตริกในการแปรรูปผักและผลไม้แช่อิ่มแห้งควรใช้ในปริมาณร้อยละ 0.01 – 0.02 ก่อนใส่ลงในน้ำเชื่อมควรละลายน้ำให้เข้ากันก่อนจึงใส่เพื่อป้องกันไม่ให้สารอยู่รวมตัวกันทีเดียว (น้ำเชื่อม 1 ลิตร ใช้กรดซิตริก 1 กรัม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1 – 0.2 กรัม)

3). กรดซิตริก (กรดมะนาว) ใช้เกรดสำหรับอาหาร นิยมเติมลงในน้ำลวก หรือน้ำสำหรับแช่ผักและผลไม้ก่อนนำไปแปรรูปเพื่อช่วยปรับปรุงสีของผักหรือผลไม้ให้ขาว (น้ำ 1 ลิตร ใช้กรดซิตริก 5 กรัม แช่นาน 10 – 15 นาที)

4) แคลเซียมคลอไรด์ ใช้เกรดสำหรับอาหาร นิยมเติมลงในน้ำลวกหรือน้ำแช่ เนื่องจากช่วยเพิ่มความคงตัวให้แก่ลักษณะเนื้อสัมผัสทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นขึ้น (น้ำ 1 ลิตร ใช้ แคลเซียมคลอไรด์ 5 กรัม แช่นาน 15 – 20 นาที)

8.2.4 วิธีการอบแห้งผักและผลไม้

วิธีการอบแห้งผักและผลไม้ นิยมใช้ความร้อนร่วมด้วยซึ่งสามารถทำได้โดยใช้แสงแดดตามธรรมชาติ (sun drying) หรือโดยการใช้เครื่องมือกลต่าง ๆ

8.2.4.1 การใช้แสงแดด

การใช้แสงแดดเป็นวิธีการอบแห้งที่ใช้กันมานานซึ่งพบว่ามีข้อบกพร่องหลายประการ เช่น ง่ายต่อการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ใช้เวลานานในการผึ่งให้แห้ง ปกติแล้ววิธีการนี้นิยมใช้ในระดับครัวเรือน รวมทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่งอาจมีการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ให้ดีขึ้น เช่น การตากกล้วยน้ำว้ากลางแจ้ง และการตากในเรือนกระจก (ภาพที่ 8.1)

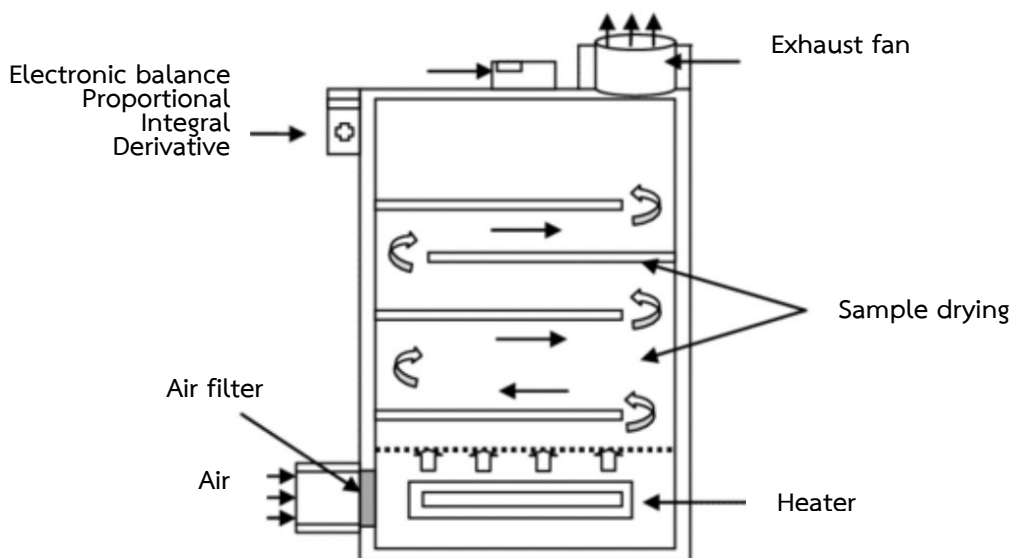
พลาสติกหรือกระจกที่คลุมด้านบนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของฝุ่น ละออง และจุลินทรีย์ ตลอดจนสิ่งสกปรก พื้นตะแกรงมีช่องตะแกรงโปร่งและวางเอียงเพื่อให้การเคลื่อนที่ของอากาศที่พัดผ่านอาหารสะดวกขึ้น ตลอดจนเป็นการระบายความชื้นออกจากอาหารได้ง่ายขึ้น ด้วยการทำผนังห้องอบให้มีสีดำช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องให้สูงขึ้นซึ่งการดัดแปลงเช่นนี้ช่วยให้สามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งได้มากขึ้น ตลอดจนสีของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอมากกว่าการตากแดดกลางแจ้ง



ภาพที่ 8.1 การเปรียบเทียบการตากแดดกลางแจ้ง (A-C) และการอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในเรือนกระจก (D-F) ของผลกล้วยน้ำว้า
ที่มา: Udomkun และคณะ (2020)

8.2.4.2 การใช้เครื่องอบแห้ง (dehydrators หรือ dryer) แบบต่าง ๆ

1) เครื่องอบแห้งแบบตู้หรือถาด (cabinet tray dryer) มีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยมภายในมีถาดหรือชั้นวางอาหาร แต่ละชั้นมีระยะห่างกันพอสมควร แหล่งให้ความร้อนในเครื่องคือขดลวดที่ถูกทำให้ร้อนด้วยไฟฟ้า เมื่ออากาศถูกดูดผ่านขดลวดร้อนขึ้น พัดลมภายในเครื่องทำงานเพื่อเป่าให้อากาศร้อนนี้กระจายและหมุนเวียนไปภายในตู้ผ่านอาหารจนทำให้อาหารนั้นแห้งในที่สุด (ภาพที่ 8.2)

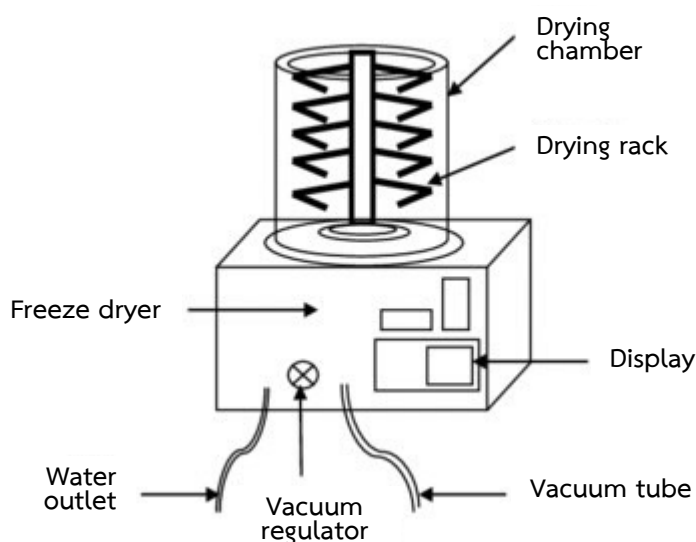


ภาพที่ 8.2 เครื่องอบแห้งแบบตู้หรือถาด
ที่มา: Maisnam และคณะ (2017)

2) เครื่องอบแห้งแบบสายพานต่อเนื่อง (continuous conveyor dryer) เป็นอุปกรณ์อบแห้งอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ซึ่งสามารถทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง โดยนำผักหรือผลไม้วางลงบนสายพานโปร่งแล้วทำให้เคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์ที่มีอากาศหรือลมร้อนเป่าอยู่ภายใน

3) เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying lyophilization) เครื่องนี้ขจัดน้ำออกจากอาหารในสภาพเยือกแข็ง (ภาพที่ 8.3) โดยการระเหิดภายใต้ความเป็นสุญญากาศสูง การแช่เยือกแข็งอาจใช้ลมเย็นหรือโดยการจุ่มอาหารลงในคาร์บอนไดออกไซด์เหลวหรือไนโตรเจนเหลวหรือฟร็อนแล้วทำแห้งในตู้อบภายใต้ความเป็นสุญญากาศสูง (0.1 – 1 มิลลิเมตรปรอท) และให้ความร้อนในระดับที่ทำให้น้ำแข็งเกิดการระเหิดเป็นไอน้ำ โดยไม่เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวก่อนจนอาหารมีความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 2 ข้อดีของเครื่องนี้คือทำให้ได้อาหารที่มีคุณภาพสูง อาหารมีโครงสร้างเป็นรูพรุนทำให้การคืนรูปได้เร็ว กระบวนการนี้ใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ไม่ต้องการ ลดการสูญเสียสารระเหยต่าง ๆ ได้ และรักษาคุณค่าทาง

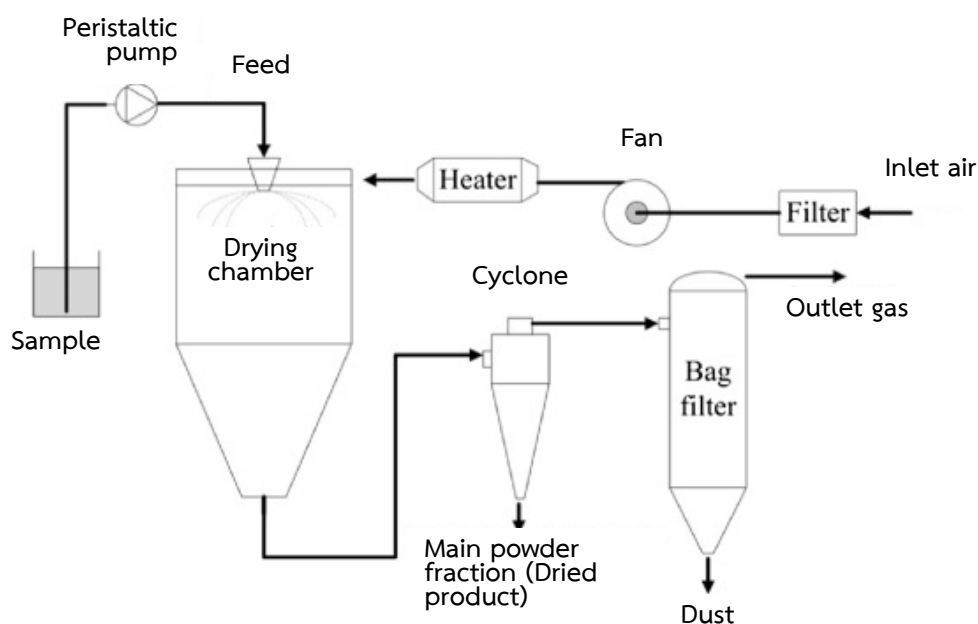
อาหารไว้ได้ดี ข้อเสียคือต้องลงทุนสูงและค่าเดินเครื่องสูง และต้องใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันการดูดความชื้นและปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีจึงเหมาะที่ใช้กับอาหารที่มีราคาแพง การทำแห้งอาจไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการหรือเครื่องทำแห้งชนิดเดียวสามารถใช้หลายวิธีร่วมกัน ดังเช่นการผลิตผลิตภัณฑ์สตรอบอร์รือบแห้ง โดยนำสตรอบอร์รี่แช่แข็งไปแช่ในสารละลายซูโครสที่มี chokeberry เข้มข้นร้อยละ 5 หรือ 15 จากนั้นนำสตรอบอร์รี่ไปทำแห้งในไมโครเวฟแบบสุญญากาศและทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง การใช้วิธีออสโมติกด้วยการแช่สตรอบอร์รี่ในสารละลายซูโครสที่มี chokeberry ร้อยละ 5 ทำให้สดขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็นร้อยละ 15 ทำให้สตรอบอร์รี่แห้ง สตรอบอร์รี่ที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีความแข็ง และความกรอบมากกว่าการอบแห้งด้วยวิธีเยือกแข็ง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือนสตรอบอร์รี่อบแห้งมีความแข็งเพิ่มขึ้น คุณภาพด้านสีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสลดลง (Kowalska และคณะ, 2020)



ภาพที่ 8.3 เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ที่มา: Maisnam และคณะ (2017)

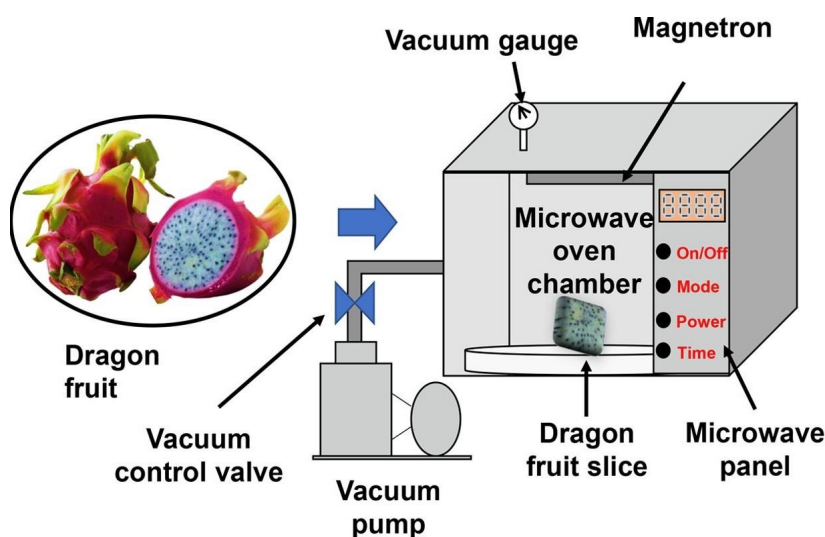
4) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) เป็นการปล่อยของเหลวที่ต้องการทำให้แห้ง เช่น น้ำผลไม้ และซูปผง ด้วยการฉีดพ่นเป็นละอองเข้าไปในตู้ที่มีลมร้อน (heater) ผ่านเข้ามา เมื่อละอองของอาหารและลมร้อนสัมผัสกันทำให้น้ำระเหยออกไป อนุภาคของตัวอย่างที่แห้งลอยกระจายในกระแสลมเข้าสู่เครื่องแยกเป็นผงละเอียด แล้วนำอาหารผงนั้นบรรจุในภาชนะต่อไป (ภาพที่ 8.4) ผักผลไม้มีองค์ประกอบของน้ำตาลสูง ในระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยมักเกิดการเกาะตัวของสารที่ผนังเครื่องอบแห้งทำให้อาหารแห้งยากจึงต้องมีการเติมสารช่วยอบแห้งเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มปริมาณผลผลิตสุดท้ายให้สูงขึ้น สารที่ใช้ช่วยยึดจับกับตัวอย่างได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทรินซึ่งเป็นสารเพิ่มความเป็นผงมีผลต่อความชื้นและการดูดความชื้น ลดการสูญเสียวิตามินซีได้ (Eroglu และคณะ, 2018)



ภาพที่ 8.4 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา: Khuenpet และคณะ (2016)

5) เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุกับอินฟราเรด ความถี่ของคลื่นระหว่าง 300 – 30,000 เม็กกะเฮิร์ตส์ ใช้แม็กนีตรอนเป็นส่วนประกอบหลักทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟซึ่งคลื่นไมโครเวฟที่นำมาใช้ประโยชน์กับอาหารมีความถี่อยู่ในช่วง 915 – 2,450 เม็กกะเฮิร์ตส์ เช่น การอบแห้งแก้วมังกรด้วยเครื่องไมโครเวฟแบบสุญญากาศสถานะที่เหมาะสมมีสารประกอบฟีนอลสูงเมื่อจุ่มชิ้นแก้วมังกรในกรดซิตริกร้อยละ 1.35 อบแห้งในไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ และความดัน 9 กิโลปาสกาล ลดเวลาในการอบแห้งได้มากกว่าการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่าย และผลิตภัณฑ์มีสีสวยคุณภาพดี (ภาพที่ 8.5)



ภาพที่ 8.5 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ

ที่มา: Bhagya Raj and Dash (2020)

8.2.5 การบรรจุผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แห้ง

การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งกระทำได้ 2 วิธี

8.2.5.1 การบรรจุในสภาพสุญญากาศ (vacuum packaging)

การบรรจุในสภาพสุญญากาศเป็นการบรรจุอาหารแห้งลงในภาชนะแล้วมีการดูดอากาศออก มักใช้ค่าความเป็นสุญญากาศตั้งแต่ 685.8 มิลลิเมตรปรอทขึ้นไปกับภาชนะบรรจุที่มี

ความคงรูปหรือทนต่อความดันสูงได้ ตัวอย่างการบรรจุเกสรบัวหลวงอบแห้งในถุงพลาสติกใส (โพลีโพรไพรีน; PP) ถุงพลาสติกร่วมกับสารดูดซับความชื้น ถุงสุญญากาศ และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อรักษาคุณภาพของเกสรบัวหลวงอบแห้ง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน ซึ่งการเก็บรักษาเกสรบัวหลวงอบแห้งในถุงสุญญากาศ และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ช่วยรักษากลิ่น รวมทั้งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และแคโรทีนอยด์มากกว่าถุงพลาสติกใส และถุงพลาสติก ร่วมกับสารดูดซับความชื้น (ภาพที่ 8.6)



ภาพที่ 8.6 การบรรจุเกสรบัวหลวงในถุงพลาสติกใส (A) การบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น (B), การบรรจุในถุงสุญญากาศ (C) และการบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (D)

ที่มา: อินทรา และภุรินทร์ (2564)

8.2.5.2 การบรรจุในสภาพที่เติมก๊าซ (gas packaging)

วิธีนี้บรรจุอาหารแห้งลงในภาชนะบรรจุสุญญากาศออกแล้วทดแทนด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือวิตามินที่ได้จากการเผาก๊าซธรรมชาติ มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุอยู่ในระดับร้อยละ 1 – 2

ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง อาหารแห้งเป็นอาหารที่ดูความชื้นได้ดีหลังการอบแห้งแล้วจึงควรทำการบรรจุในภาชนะโดยเร็ว ภาชนะบรรจุที่ใช้ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1) มีความแข็งแรง ทนทานในระหว่างการขนส่ง เก็บรักษา และการตลาด ป้องกันการกัดแทะของแมลงได้ ป้องกันการแทงทะลุของอาหารแห้งบางอย่างซึ่งมีความแข็งและกรอบ

2) สามารถป้องกันความชื้นได้ เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของอาหารแห้ง

3) สามารถป้องกันการซึมผ่านของแสงได้ แสงฟอสฟอรัสของอาหารบางครั้งทำให้เกิดสีคล้ำขึ้นทำให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหารสูญเสียไปอย่างรวดเร็ว เร่งการเหม็นหืนของไขมัน เร่งการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีน เป็นต้น

4) ป้องกันออกซิเจนได้ เพราะออกซิเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เช่น การเหม็นหืนของไขมันและการออกซิเดชันของแคโรทีน

5) ป้องกันการดูดกลืนแปลกปลอม โดยเฉพาะอาหารที่มีไขมันสูงดูดกลืนจากสิ่งแวดล้อมได้ง่าย

6) ป้องกันการปะปนของฝุ่นละออง เชื้อจุลินทรีย์

7) ภายในภาชนะบรรจุ วัสดุที่ใช้ทำต้องไม่ละลายปนกับอาหารหรือไม่เป็นพิษ

8) ราคาไม่แพง สะดวกในการใช้และสะดวก ซินติของภาชนะบรรจุที่ใช้ได้แก่ ภาชนะที่คงรูป (rigid container) ได้แก่ กระป๋อง แก้ว พลาสติกแข็ง ภาชนะยืดหยุ่น (flexible pouches) ได้แก่ ถุงพลาสติกโพลิโพรพิลีน (polypropylene) ถุงเคลือบหลายชั้น (laminated pouch) ถุงที่ทำจากอลูมิเนียมและฟิล์ม (aluminum–film combination pouch) และกล่องกระดาษ (carton) มักมีการรองด้วยกระดาษไข หรือแผ่นพลาสติกที่ป้องกันความชื้นได้ แล้วห่อภายนอกกล่องด้วยแผ่นอลูมิเนียม กระดาษไขหรือฟิล์มพลาสติก

การใช้สารดูดความชื้นในภาชนะบรรจุผักและผลไม้แห้งบางชนิดอาจทำแห้งจนมีความชื้นต่ำหรือขจัดน้ำส่วนใหญ่ออกไปแล้วบรรจุสารเคมีที่ดูดความชื้นส่วนเกินออกไปในระหว่าง

การเก็บรักษา เช่น แคลเซียมออกไซด์ หรือซิลิกาเจล โดยที่ซิลิกาเจลมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้สูงสามารถดูดน้ำได้ประมาณร้อยละ 40 ของน้ำหนักตัวแล้วยังคงแห้งและยังไม่จับเป็นก้อน สารเคมีพวกนี้บรรจุในถุงซึ่งความชื้นผ่านเข้าออกได้แต่ไม่สัมผัสกับอาหาร นำมาบรรจุรวมเข้ากับภาชนะที่ใช้บรรจุอาหารแห้งที่ปิดสนิท

ผักและผลไม้ที่มีน้ำตาลสูงนั้นอาจมีการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (anticaking agent) เช่น แคลเซียมสเตียเรท หรือซิลิกาเจลหรือไฮเดรตเต็ดโซเดียมซิลิกาอลูมิเนต (hydrated sodium silica aluminate) ในปริมาณร้อยละ 0.25 – 0.5

8.3 การปฏิบัติต่อผลไม้หลังการอบแห้ง (post drying treatment)

หลังการอบแห้งสิ้นสุดลงอาจมีกรรมวิธีบางอย่างที่ถูกปฏิบัติเพื่อช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายดีขึ้น ตัวอย่างของกรรมวิธีเหล่านี้ได้แก่

8.3.1 เอ็กโพลชัน พัพฟิง (explosion puffing)

เอ็กโพลชัน พัพฟิงเป็นการปฏิบัติเพื่อทำให้ผักหรือผลไม้อบแห้งนั้นอ่อนนุ่มไม่แห้งแข็ง และเพื่อลดความชื้นให้เหลือประมาณร้อยละ 4 – 5 ซึ่งวิธีนี้ใช้กับแอปเปิลและเบอร์รี่ โดยนำชิ้นของผลไม้ไปแช่น้ำให้มีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 20 – 30 ผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่มีความดันสูง แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลไม้จนอย่างรวดเร็วทำให้น้ำที่เหลือในผลไม้กลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว ความดันในเซลล์สูงขึ้น ต่อจากนั้นจึงปล่อยชิ้นผลไม้เข้าสู่ความดันปกติทำให้น้ำในเซลล์แตกออก (crack vacuum) ส่งผลให้ผลไม้อบแห้งนั้นมีรูพรุนเพิ่มขึ้น ดูนุ่ม พู ช่วยให้ประสิทธิภาพการคั่วตัวของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น และมีความชื้นเหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำ

8.3.2 การปฏิบัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ผงทั้งหลาย (agglomeration and instantiation process)

ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ผง เช่น กาแฟ น้ำส้มผง เป็นต้น ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่ออาหารนั้นมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสน้ำสูง (100 – 250 ไมครอน) มีการแพร่กระจายของอนุภาคสูง โดยพบว่าถ้าอนุภาคมีขนาดประมาณ 200 ไมครอน มีการกระจายตัวในน้ำสูง กรรมวิธีโดยผ่านผักหรือผลไม้อบแห้งที่มีความชื้น

ไม่เกินร้อยละ 5 เข้ารีดในลูกกลิ้งแต่ละตัวอยู่ห่างกันประมาณ 0.001 นิ้ว แล้วรีดเป็นแผ่นบางช่วยให้มีพื้นที่มากขึ้น ต่อจากนั้นจึงนำไปบดละเอียดทำให้ประสิทธิภาพการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

8.3.3 การกระจายความชื้นในผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถัง (bin dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถังเป็นเครื่องที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ผักหลังจากความชื้นส่วนใหญ่ถูกกำจัดออกแล้วทั้งนี้มีวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กันไป เช่น เพื่อกระจายความชื้นให้สม่ำเสมอทั้งชิ้นของผักอบแห้งนั้น หรือเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้ลดต่ำลงเหลือในระดับที่ต้องการ ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบถังคล้ายกับกล่องทำด้วยโลหะหรือไม้ มีช่องทางให้อากาศอุ่นและแห้งที่มีอุณหภูมิประมาณ 38 – 49 องศาเซลเซียส ผ่านเข้าภายในกล่องด้วยความเร็วประมาณ 100 ฟุตต่อนาที ผักและผลไม้ถูกวางอยู่ภายในกล่องเพื่อให้อากาศนี้เป่าผ่านด้วยระยะเวลาหนึ่งสามารถทำให้ความชื้นและการกระจายความชื้นเป็นไปตามต้องการซึ่งอาจใช้ระยะเวลานานถึง 36 ชั่วโมง

8.4 การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ในขณะที่ทำแห้ง

การทำให้ผักและผลไม้แห้งเป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยลดค่าออกเอดทวิตีของอาหารซึ่งป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และทำให้ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เกิดช้าลงด้วย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้งมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ซึ่งการทำแห้งผักและผลไม้มีหลายวิธี เช่น การตากแห้ง การทำให้แห้งภายใต้สุญญากาศ การทำแห้งโดยใช้วิธีออสโมซิส การทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง วิธีเหล่านี้มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันไปดังนี้

8.4.1 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้มีลักษณะอย่างไรรู้ขึ้นกับวิธีการทำแห้ง ผักที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีเนื้อสัมผัสดีเมื่อนำไปคินตัวในน้ำสามารถดูดน้ำกลับเข้าไปในชิ้นผลิตภัณฑ์ได้ดี ผักที่อบแห้งโดยใช้ลมร้อนมีเนื้อสัมผัสที่ผิดไปจากผักสด คือแห้งแข็ง แต่การอบแห้งแบบเยือกแข็งส่งผลดีต่อมะเฟืองโดยก่อนอบแห้งได้ทำออสโมติกด้วยการแช่ซูโครส และแคลเซียมมีลักษณะปรากฏเนื้อสัมผัส กลิ่นดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน (Shigematsu และคณะ, 2005)

8.4.2 การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในผักและผลไม้แห้งคือ การเกิดสีน้ำตาลซึ่งอาจเป็นปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์หรือไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง การอบแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศเป็นวิธีที่ลดการเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิล ท้อ และมะม่วงได้ดีกว่าการใช้วิธีอื่น สำหรับมะละกอสีเปลี่ยนน้อยที่สุดเมื่อใช้ลมร้อนและลมเย็น (Chong และคณะ, 2013) การใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นวิธีการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์มากกว่าการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ในการอบแห้งสตรอเบอร์รี่ด้วยลมร้อนมีการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Ratti, 2001) และการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งส่งผลให้สีมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น (Chong และคณะ, 2008) การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนอาจมีผลทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน ในขณะที่แคโรทีนอยด์ยังคงอยู่ในผักและผลไม้แห้งหลายชนิดที่ผ่านการทำลายเอนไซม์โดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในการอบแห้งธรรมชาติถ้าผักและผลไม้ไม่ผ่านการรมควันด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่งผลให้แอนโทไซยานินไม่อยู่ตัวและเปลี่ยนเป็นสีเทา การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ยังไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริง ผักและผลไม้สีเขียวสามารถเปลี่ยนสีขณะทำให้แห้ง ถ้าหากไม่ได้ผ่านการทำให้สีอยู่ตัวก่อนทำแห้งสีซีดหรือเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล วิธีทำให้สีอยู่ตัวคือการลวกน้ำร้อนหรือแช่ในสารเคมีบางอย่าง เช่น สารละลายต่างอ่อน ๆ ทำให้สีอยู่ตัวมากขึ้น แต่ส่งผลให้ผักและผลไม้แข็งกระด้างมากขึ้น นอกจากนี้ อาจมีปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นได้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและกรดแอมิโนขณะอบแห้ง

8.4.3 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส

ผักและผลไม้ขณะทำแห้งกลิ่นรสเดิมเปลี่ยนแปลงไป สารที่ให้กลิ่นรสส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ เช่น ลูกพรุน (prunes) ขณะอบแห้งแอซิทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) เปลี่ยนเป็นโครโทนัลดีไฮด์ (crotonaldehyde) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นของลูกพรุนแห้ง

8.4.4 การเปลี่ยนแปลงวิตามิน

ผักและผลไม้แห้งมีการสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำวิตามินที่ละลายน้ำสูญเสียในกระบวนการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ขณะตากแห้งวิตามินซีและเอสามารถถูกทำลายเมื่อ

สัมผัสกับอากาศ และวิตามินบี 2 ถูกทำลายได้โดยแสง การตากแห้งสูญเสียวิตามินมากกว่าการทำให้แห้งโดยเครื่องจักร การรมควันด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ช่วยลดการสูญเสียวิตามิน แต่วิตามินบี 1 สามารถถูกทำลายได้เร็วขึ้น

8.5 การควบคุมคุณภาพผักและผลไม้แห้ง

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป มีจุดประสงค์เพื่อให้แน่ใจถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกจากโรงงานมีมาตรฐานตามข้อกำหนด ปัจจัยที่ควรควบคุมได้แก่

8.5.1 ความชื้น

ผักแห้งมักควบคุมระดับความชื้นระหว่างร้อยละ 3 – 5 ส่วนผลไม้ระดับความชื้นสูงกว่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ การทดสอบปริมาณความชื้นกระทำโดยการอบตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 – 6 ชั่วโมง แล้วหาน้ำหนักแห้ง คำนวณหาปริมาณความชื้น หรือใช้เครื่องทดสอบความชื้นแบบอินฟราเรด (infrared moisture tester) ซึ่งหาความชื้นได้รวดเร็ว

8.5.2 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การตรวจสอบหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยวิธีโมเนียร์วิลเลียม (Monier-Williams) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้การตรวจวัดซัลไฟต์อิสระที่แตกตัวออกจากตัวอย่างอาหาร โดยตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนและทำปฏิกิริยากับ 4 โมลาร์ กรดไฮโดรคลอริกเกิดการเปลี่ยนรูปจากซัลไฟต์เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ขณะที่ไอของก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผ่านคอนเดนเซอร์ทำความเย็นและผ่านต่อไปทำปฏิกิริยากับร้อยละ 3 ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ทำให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกออกซิไดส์ไปเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งสามารถนำไปหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ โดยการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.010 โมลาร์

8.5.3 การทดสอบเอนไซม์

อาหารที่ผ่านการลวกอย่างเพียงพอหรือไม่ก่อนการทำแห้งสามารถใช้การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ได้โดยหากตรวจพบกิจกรรมของเอนไซม์แสดงว่าเวลาหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการลวกอาจไม่เหมาะสมควรมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้เอนไซม์มีปริมาณน้อยที่สุดโดยเอนไซม์ที่มีการทดสอบกันได้แก่ เอนไซม์แคตตาเลส (catalase) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส มีรายละเอียดดังนี้

8.5.3.1 การทดสอบเอนไซม์แคตตาเลส

โดยใส่ตัวอย่างขนาดเล็กในหลอดทดสอบ เติมน้ำเล็กน้อยแล้วทิ้งไว้ 10 นาที เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้นร้อยละ 3 ลงไป 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจากนั้นเขย่าหลอด การทดสอบผลเป็นบวกเมื่อมีการฟุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

8.5.3.2 การทดสอบเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส

ใช้ตัวอย่างเล็กน้อยทำการคั้นรูปด้วยน้ำ 10 – 15 นาที เทน้ำทั้งใช้ตัวอย่างที่คั้นรูปแล้วใส่ในหลอดทดสอบสูงประมาณ 1 นิ้ว เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร สารละลายโคเอกอลเข้มข้นร้อยละ 1 ในแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 75 จำนวน 1 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและดูผลหลัง 5 – 10 นาที ผลเป็นลบเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีหรือเกิดจุดน้ำตาลเล็กน้อย ผลเป็นบวกเมื่อเกิดจุดสีน้ำตาลแดงกระจายทั้งเนื้อเยื่อ

8.5.4 นับขึ้นตำหนิ (blemish count)

นำตัวอย่างอาหารแห้งจำนวน 50 กรัม มาทำการคั้นรูป แล้วนับขึ้นที่มีตำหนิ ค่าที่ได้คูณด้วย 2 บอกจำนวนที่มีตำหนิต่อตัวอย่าง 100 กรัม

8.5.5 ค่าความหนาแน่น (bulk density)

ค่านี้มีความสำคัญในแง่การบรรจุในภาชนะ โดยการชั่งน้ำหนักของกระบอกแก้วที่มีปริมาตร 625 มิลลิลิตร แล้วเติมด้วยตัวอย่างอาหารให้เต็ม ปิดตัวอย่างที่ปากกระบอกแก้ว แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

ค่าความหนาแน่น (ปอนด์ /ลบ.ฟุต) = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม/10

8.5.6 การวิเคราะห์หาจุลินทรีย์

การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารแห้งเป็นครั้งคราวเป็นดัชนีที่ชี้ถึงคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้กรรมวิธีการแปรรูป และสุขลักษณะของโรงงานได้เป็นอย่างดี

8.5.7 การทดสอบการคืนรูป (rehydration test)

คุณสมบัติในการคืนรูปเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของอาหารแห้งทำให้สามารถทราบถึงความต้องการของขบวนการแปรรูป ไม่มีวิธีมาตรฐานในการทดสอบในแต่ละโรงงานอาจกำหนดวิธีที่เหมาะสมขึ้นเอง และเปรียบเทียบกันได้ต่อเมื่อใช้วิธีเดียวกันวิธีการทดสอบทำได้โดยชั่งตัวอย่างอาหารแห้ง 2 – 10 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 80 – 150 มิลลิลิตร ปิดทับด้วยกระจกนาฬิกา ต้มให้เดือดภายใน 30 นาที แล้วต้มต่ออีก 5 นาที กรองผ่าน กระดาษกรองแล้วชั่งน้ำหนัก ปริมาณน้ำที่ใช้และเวลาที่ใช้ต้มขึ้นกับชนิดของอาหาร ปริมาณน้ำที่ใช้ต้องแช่อาหารให้ท่วมและต้องไม่ใช้น้ำมากเกินไป เวลาที่ใช้ต้องหาเวลาที่ให้คุณภาพของอาหารที่ดีที่สุด การคำนวณทำได้ดังนี้

8.5.7.1 สัดส่วนการคืนรูป (rehydration ratio)

ถ้าน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง 10 กรัม (a) และน้ำหนักตัวอย่างหลังคืนรูปแล้ว 80 กรัม (b) สัดส่วนการคืนรูป = $b/a = 80/10 = 8 : 1$

8.5.7.2 สัมประสิทธิ์ของการคืนรูป (coefficient of rehydration)

สัมประสิทธิ์การคืนรูป = $\frac{\text{น้ำหนักคืนรูปแล้ว} \times (100 - \text{ความชื้นอาหารสด}) \times 100}{(\text{น้ำหนักอาหารแห้งที่ใช้} - \text{น้ำหนักน้ำในอาหารแห้ง})}$

8.5.7.3 ร้อยละน้ำในอาหารที่คืนรูป

ร้อยละน้ำในอาหารที่คืนรูป = $\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างอาหารหลังคืนรูป} - \text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอาหารหลังคืนรูป}}$

8.5.7.4 อัตราการคืนตัว (Rehydration Ratio, RR)

การหาอัตราการคืนตัวของตัวอย่างอบแห้ง โดยการนำตัวอย่างอบแห้งมาชั่งน้ำหนัก และแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (hot plate) ตัวอย่างดูดน้ำขึ้นจากน้ำร้อน ชับน้ำที่ผิวให้แห้ง และชั่งน้ำหนักทุก ๆ 2 นาที เพื่อดูอัตราการดูดน้ำเป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นทำการคำนวณค่าอัตราการคืนตัวจากสมการ

$$RR = mf/mi$$

เมื่อ

mf คือ น้ำหนักแครอทหลังการคืนตัว (g),

mi คือ น้ำหนักแครอทแห้งก่อนการคืนตัว (g)

หลังการคืนรูปแล้วผักอาจมีการเติมเกลือลงไปเล็กน้อย ต้มในบิกเกอร์จนสุกแล้วประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ระบบการให้คะแนนดังนี้

คุณลักษณะ	น้ำหนักสุทธิ	สี	ลักษณะเนื้อ	รสชาติ	กลิ่น	รวม
คะแนน	20	10	30	30	10	100

8.5.8 คุณสมบัติทางกายภาพ

ผลไม้แห้งอาจมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้ระบบการให้คะแนนคุณลักษณะ และคุณภาพสำคัญ ๆ ดังนี้

คุณลักษณะ	สี	ความสม่ำเสมอของขนาด	ปราศจากตำหนิ	ลักษณะเนื้อ	รวม
คะแนน	20	10	30	30	100

8.5.9 การตรวจสอบโดยการร่อนด้วยตะแกรง (screen analysis)

การตรวจสอบโดยการร่อนด้วยตะแกรงเป็นการวิเคราะห์ถึงเศษปนที่มีอยู่ในอาหารแห้งด้วยการใช้ตะแกรงร่อน สำหรับขนาดตะแกรงที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของอาหารในข้อกำหนด ซึ่งอาหารแห้ง

ส่วนหนึ่งแล้วร้อนผ่านชุดของตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับด้วยเครื่องเขย่า ปกติใช้เวลาประมาณ 3 – 5 นาที ซึ่งอาหารแห้งส่วนที่เหลือบนตะแกรงแต่ละขนาดแล้วคำนวณตามสูตร

8.5.10 การวิเคราะห์ก๊าซที่หัวกระป๋อง

ในอาหารแห้งที่บรรจุภายใต้ก๊าซเฉื่อย เพื่อให้เกิดความคงตัวในการเก็บรักษานั้น ควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่อยู่หัวกระป๋อง อาจวัดด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatography: GC) มาตรฐานที่ยอมรับกันคือต้องการปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 2 ในส่วนหัวกระป๋อง

8.6 บทสรุป

การอบแห้งเป็นการลดความชื้นในอาหารโดยใช้พลังงานความร้อนและแสงในช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่ จุลินทรีย์ไม่สามารถนำในอาหารไปใช้ในการเจริญได้ อาหารแห้งจึงเก็บไว้ได้นาน วิธีการแปรรูปผักและผลไม้อบแห้งมีขั้นตอนตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบโดยล้างทำความสะอาด นิยมใช้สารเคมีในการช่วยรักษาสีเขียว หรือการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เช่น สารคาร์บอนेट กรดซิตริก และโซเดียมไบซัลไฟต์ การใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนในการลวก เพื่อช่วยให้ น้ำระเหยออกจากผักได้ง่าย การปรับปรุงคุณภาพของผักและผลไม้ก่อนอบแห้ง เช่น การใช้กรดเพื่อปรับปรุงกลิ่น รส ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การใช้สารคงรูป เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส การใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และการใช้วัตถุกันเสียเพื่อช่วยในการถนอมอาหารยืดอายุการเก็บรักษา ขั้นตอนต่อไปคือการอบแห้งแบ่งเป็นการใช้แสงแดด และการใช้เครื่องอบแห้ง เช่น เครื่องอบแห้งแบบตู้ แบบสายพานต่อเนื่อง แบบแช่เยือกแข็ง แบบพ่นฝอย และแบบไมโครเวฟ เป็นต้น การบรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้งโดยบรรจุในสภาพสุญญากาศ และในสภาพที่เติมแก๊ส ผักผลไม้ที่ผ่านการอบแห้งแล้วอาจมีเนื้อสัมผัสแข็ง ประสิทธิภาพในการละลายน้ำน้อยและการกระจายความชื้นไม่สม่ำเสมอ จึงมีวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น เช่น การใช้วิธีเอ็กโซฟิลชัน พัพฟิง การทำให้อาหารมีอนุภาค 200 ไมครอน และการใช้เครื่องอบแห้งแบบถัง เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ขณะทำแห้ง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่แห้งแข็ง เกิดสีน้ำตาล กลิ่นรสผิดปกติ และสูญเสียวิตามิน การควบคุมคุณภาพของผักและผลไม้แห้งทำได้โดยตรวจสอบความชื้น ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การทดสอบเอนไซม์ การนับขึ้นตำหนิ ค่าความหนาแน่น การวิเคราะห์จุลินทรีย์ การทดสอบการคืน

รูป การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การตรวจสอบการร่อนด้วยตะแกรง และการวิเคราะห์ก๊าซ
ที่หัวกระป๋อง เป็นต้น

แบบฝึกหัด

1. ยกตัวอย่างสารที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผักและผลไม้อบแห้ง
2. เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแตกต่างกันอย่างไร
3. เอ็กโพลชัน พัพฟิง คืออะไร
4. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ในขณะทำแห้ง
5. การตรวจสอบหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

- อินทิรา ลิจันทรพร และภุรินทร์ อัครกุลธร. (2564). ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของเกสรบัวหลวงอบแห้ง. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 20(1), 91–102.
- Bhagya, Raj, G.V.S., & Dash, K.K. (2020). Microwave vacuum drying of dragon fruit slice: Artificial neural network modelling, genetic algorithm optimization, and kinetics study. *Computer and Electronics in Agriculture*, 178, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105814>.
- Chong, C.H., Law, C.L., Cloke, M., Hii, C.L., Abdullah, L.C., & Wan Daud, W.R. (2008). Drying kinetics and product quality of dried chempedak. *Journal of Food Engineering*, 88, 522–527.
- Chong, C.H., Law, C.L., Figiel, A., Wojdyło, A., & Oziembłowski, M. (2013). Color, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry*, 141, 3889–3896.
- Eroglu, E., Tontul, I., & Topuz, A. (2018). Optimization of aqueous extraction and spray drying conditions for efficient processing of hibiscus blended rosehip tea powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(6), e13643.
- Khuenpet, K., Charoenjarasrerk, N., Jaijit, S., Arayapoonpong, S., & Jittanit, W. (2016). Investigation of suitable spray drying conditions for sugarcane juice powder production with an energy consumption study. *Agriculture and Natural Resources*, 50, 139–145.
- Kowalska, H., Mavzec, A., Kowalska, J., Trych, U., Masiarz, E., & Lenart, A. (2020). The use of a hybrid drying method with pre-osmotic treatment in strawberry bio-snack technology. *International Journal of Food Engineering*, 16(1–2), 20180318. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0318>
- Maisnam, D., Rasane, P., Dey, A., Kaur, S., & Sarma, C. (2017). Recent advances in conventional drying of foods. *Journal of Food Technology and Preservation*, 1(1), 25–34.

- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49, 311–389.
- Shigematsu, E., Eik, N.M., Kimura, M., & Mauro, M.A. (2005). Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(3), 536–545.
- Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, 268, [110730].
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>
- Wickramarachchi, K. S., & Ranamukhaarachchi, S.L. (2005). Preservation of fiber-rich banana blossom as a dehydrated vegetable. *ScienceAsia*, 31, 265–271.

บทที่ 9 การแปรรูปผักและผลไม้โดยการใช้น้ำตาล

การแปรรูปผักและผลไม้โดยการใช้น้ำตาลเป็นการถนอมอาหารโดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อาหารจึงเก็บรักษาได้นานโดยไม่เน่าเสียซึ่งมีหลายวิธี เช่น การเชื่อม การกวน การแช่อิ่ม รวมทั้งการนำน้ำตาลมาผสมกับผลไม้เพื่อผลิตแยม เยลลี่ หรือมาร์มาเลด น้ำตาลนอกจากมีประโยชน์ในการถนอมอาหารแล้วยังใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่ม และส่วนผสมในอาหารต่าง ๆ ผักและผลไม้ที่นำมาแปรรูปด้วยน้ำตาลต้องคัดเลือกผลไม้ที่แก่พอดี ไม่สุกหรืออ่อนเกินไปซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามน้ำตาลที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่ให้พลังงานสูงและมีผลต่อผู้บริโภคจึงมีการใช้สารทดแทนความหวาน ได้แก่ หญ้าหวาน ซูคราโลส และมอลติทอล ซึ่งเป็นทางเลือกให้กับผู้สนใจดูแลสุขภาพ

9.1 หลักการแปรรูปผักและผลไม้โดยการใช้น้ำตาล

การใช้น้ำตาลหรือสารให้ความหวานในการถนอมผักและผลไม้ โดยทำหน้าที่เป็นสารกันบูด ช่วยรักษาผลิตภัณฑ์และเป็นโครงสร้างในผลิตภัณฑ์ไซรัป นอกจากนี้ยังให้สมบัติเชิงหน้าที่ รวมถึงจุดเยือกแข็ง ความดันออสโมติก การควบคุมการตกผลึก และควบคุมความหวาน น้ำตาลหรือสารให้ความหวานอาจใช้ในรูปของแข็งหรือ สารละลายขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลสูงสามารถต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ในระบบจึงทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้น้ำในระบบในการดำรงชีวิต (ปรรัตน์, 2556) ผักและผลไม้ที่ใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูง ในการถนอมอาหารได้แก่ การแช่อิ่ม แยม เยลลี่ มาร์มาเลด ผักและผลไม้กวน เป็นต้น

9.2 ผักและผลไม้แช่อิ่ม

ผักและผลไม้แช่อิ่มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถนอมผักและผลไม้บางชนิดในน้ำเชื่อมปรุงรสที่ประกอบด้วยน้ำตาล เกลือ และกรดอินทรีย์จนได้ความหวานที่ต้องการ อาศัยหลักการออสโมซิสเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำตาลเข้มข้นกับน้ำในผลไม้ ทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น ความหวานของน้ำเชื่อมในเนื้อผลไม้มีมากกว่าร้อยละ 65 ลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์แช่อิ่ม คือมีสีสันทึบใส ไม่ดำ

คล้ำ คงรูปร่างได้ดี ไม่นิ่มหรือเหี่ยวยุบ มีความหวานสม่ำเสมอทั้งชิ้น การแช่สามารถแบ่งได้ 2 วิธี ได้แก่ การแช่แบบเร็ว และการแช่แบบช้า

9.2.1 การทำผลไม้แช่แบบเร็ว

การแช่แบบเร็ววิธีนี้เตรียมน้ำเชื่อมปรุงรส ให้มีความหวานเริ่มต้นที่น้ำตาลร้อยละ 30 ของน้ำหนักน้ำเชื่อม เคี้ยวผลไม้ในน้ำเชื่อมดังกล่าวโดยใช้ไฟอ่อนหรือความร้อนไม่สูงประมาณ 100 – 105 องศาเซลเซียส เคี้ยวจนน้ำเชื่อมงวดและได้ความหวานของน้ำเชื่อมประมาณ ร้อยละ 50 – 65 ของน้ำหนักน้ำเชื่อม การทำผลไม้แช่แบบเร็วนี้ใช้เวลา 3 – 4 ชั่วโมง เช่น การแช่ส้มมะเขือเทศ (ภาพที่ 9.1) ในการเคี้ยวน้ำเชื่อมจนงวดและเนื้อผลไม้มีความหวานใกล้เคียงกับน้ำเชื่อม การใช้อุณหภูมิในการเคี้ยวที่สูงเกินไปทำให้น้ำเชื่อมมีสีคล้ำและมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ อีกทั้งให้เนื้อผลไม้ นิ่มละ ดังนั้นวิธีนี้ไม่เหมาะกับผลไม้ที่มีเนื้อนิ่มและละลายได้ง่าย อนึ่งการแช่แบบเร็วสามารถใช้หลักการสุญญากาศเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีสวยและเนื้อผลไม้ไม่เละมากไปได้



ภาพที่ 9.1 การแช่ส้มมะเขือเทศแบบเร็ว

ที่มา : ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

9.2.2 การทำผลไม้แช่อิ่มแบบซ้า

การแช่อิ่มแบบซ้าเป็นวิธีการที่แช่ผลไม้ที่เตรียมไว้แล้วในน้ำเชื่อมโดยเริ่มต้นที่น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลร้อยละ 30 นานประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมทุกวันเป็นน้ำตาลร้อยละ 40 50 60 และ 65 ของน้ำหนักน้ำเชื่อม ตัวอย่างการแช่อิ่มแบบซ้าดังภาพที่ 9.2 การแช่อิ่มแบบนี้ขึ้นอยู่กับความหวานเริ่มต้นของผลไม้แต่ละชนิดและความหวานของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การแช่อิ่มผลไม้ด้วยวิธีนี้ใช้เวลานานจึงต้องรักษาความสะอาด และตมน้ำเชื่อมทุกวันเพื่อไม่ให้เกิดกลิ่นหมักหรือ เหม็นเปรี้ยว

ผลไม้แช่อิ่มที่ได้จากทั้งสองวิธีเมื่อนำขึ้นจากน้ำเชื่อม และทิ้งให้สะเด็ดน้ำเชื่อมแล้วเป็นผลไม้แช่อิ่มแบบเปียกซึ่งหากนำผลไม้แช่อิ่มนี้ไปอบให้แห้งเป็นผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ ผลไม้เคลือบน้ำตาลอบแห้ง และผลไม้อบแห้งที่ไม่เคลือบน้ำตาล ซึ่งได้จากการนำผลไม้แช่อิ่มที่สะเด็ดน้ำเชื่อมแล้ว มาล้างน้ำเชื่อมที่ผิวออกก่อนนำไปอบแห้ง



ภาพที่ 9.2 การแช่อิ่มผลบ๊วยสดแบบซ้า

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

9.3 ผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด

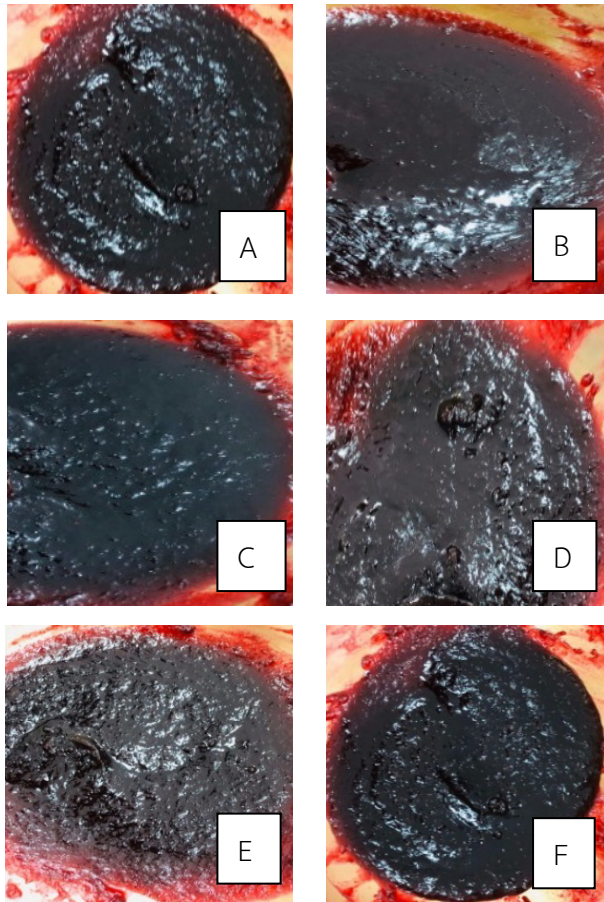
แยม เยลลี่ และมาร์มาเลดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะข้นหรือเจล มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์สูงกว่าร้อยละ 65 ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 2.8 – 3.5 มีรสเปรี้ยวหวาน แยมผลิตจากเนื้อของผักและผลไม้ เยลลี่ผลิตจากน้ำผลไม้ ส่วนมาร์มาเลดผลิตจากน้ำผักและน้ำผลไม้ แต่มีส่วนเนื้อของผักและผลไม้ด้วย

9.3.1 แยม

แยมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนที่บริโภคได้ทั้งหมดของผักและผลไม้ นำมาต้มกับน้ำตาล เพกทิน และกรด เพื่อให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นเจล แสดงลักษณะของแยมกระเจียบแดง โดยกำหนดสัดส่วนผลไม้ต่อน้ำตาลเป็น 45 ต่อ 55 ปรับส่วนผสมให้มีเพกทิน ประมาณร้อยละ 1 และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยกรดอินทรีย์ให้ได้เท่ากับ 3.2 แล้วเคี่ยว ส่วนผสมให้มีความเข้มข้น วัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 65 – 68.5 ได้ผลิตภัณฑ์แยมที่มีโครงสร้างของเจลที่แข็งแรง ถ้าแยมมีลักษณะเหลวอาจเนื่องมาจากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าร้อยละ 65 หรือปริมาณเพกทินน้อยกว่าร้อยละ 1 และมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 3.2 แต่ถ้าหากแยมมีความหนืดข้นมากแสดงว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากกว่า 68.5 ใส่เพกทินเกินร้อยละ 1.0 และค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 3.2 แยมส่วนใหญ่มักใช้น้ำตาลซูโครสเป็นส่วนประกอบในการผลิตเนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นวัตถุดิบที่มีราคาไม่สูงมากแต่ส่งผลโดยตรงต่อผู้บริโภคที่เป็นโรคเบาหวานหรือโรคอ้วนจึงมีการใช้สารทดแทนความหวานในแยมหลายชนิด เช่น มอลติทอล โดยมอลติทอลเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลชนิดที่มีคุณค่าทางโภชนาการและให้พลังงานมีความหวาน 0.9 เท่าของซูโครส และให้พลังงานเท่ากับ 2.1 กิโลแคลอรีใน 1 กรัม แยมที่ใช้มอลติทอลทดแทนน้ำตาลทั้งหมดและเติมเปลือกมังคุดปริมาณร้อยละ 12 (น้ำหนักเปียก) ของเนื้อมังคุดมีพลังงานเท่ากับ 2.09 กิโลแคลอรีใน 1 กรัม ซึ่งต่ำกว่าแยมมังคุดสูตรน้ำตาล (2.63 กิโลแคลอรีใน 1 กรัม) การเติมเปลือกมังคุดและใช้มอลติทอลทดแทนน้ำตาลส่งผลในการเพิ่มสารประกอบฟีนอลและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระแต่ความแข็งแรงของเจลมีค่าลดลงและเก็บรักษาได้น้อย 12 สัปดาห์ (สุภาพร, 2554) นอกจากนี้ยังมีการใช้ในมอลติทอลไซรัปในสูตรแยมเสาวรสมผสมเคปกูสเบอร์รี่เพื่อสุขภาพโดยมีส่วนผสมของเสาวรสม เคปกูสเบอร์รี่ มอลติทอลไซรัป เพกทินอินนูลิน และเจลาตินเท่ากับร้อยละ 37.5 12.5 44.4 2.4 2.0 และ 1.2 ตามลำดับ โดยแยมที่ได้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 10.25 ± 0.01 และ 0.67 ± 0.01 กรัมต่อแยม 100 กรัม

ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแยมที่จำหน่ายในท้องตลาด แต่มีปริมาณใยอาหารและมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแยมชนิดอื่น อีกทั้งยังให้ค่าพลังงานอาหาร 200 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งมีค่าพลังงานน้อยกว่าแยมสูตรปกติที่ใช้น้ำตาลทรายเป็นส่วนประกอบร้อยละ 30 จัดเป็นแยมลดพลังงาน มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 2 เดือน (จุฑามาศ และคณะ, 2558) นอกจากการใช้มอลติทอลแล้วยังมีการใช้สารสกัดหญ้าหวานทดแทนน้ำตาลในแยมเคทกูสเบอร์พลังงานต่ำสำหรับผู้ป่วยเบาหวานซึ่งลดปริมาณน้ำตาลลงร้อยละ 75 และใช้สารสกัดหญ้าหวานที่ 250 ส่วนในล้านส่วน มีค่าสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 66.41 ± 0.84 มีค่าพลังงานอยู่ที่ 265.34 กิโลแคลอรีใน 100 กรัม ปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 0.10 และ 65.72 กรัม ใน 100 กรัม ตามลำดับ (รัชนิ และคณะ, 2561)

การใช้วัตถุดิบที่ให้ความหวานทดแทนน้ำตาลเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยผู้บริโภคมีทางเลือกในการดูแลสุขภาพ เช่น การใช้น้ำผักโขมเข้มข้นแทนการใช้น้ำตาลซูโครสในแยมกระเจี๊ยบด้วยการใช้น้ำผักโขมเข้มข้น 15 และ 20 กรัม ซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั้งด้านสี กลิ่น รสชาติ ความคงตัวของแยม และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากแยมกระเจี๊ยบที่ไม่มีน้ำผักโขมซึ่งลักษณะสีของแยมกระเจี๊ยบน้ำผักโขม (ภาพที่ 9.3) แยมที่ดีควรมีลักษณะข้นเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว ไม่ตกผลึก ต้องมีสีและกลิ่นดีตามธรรมชาติของแยมและส่วนประกอบที่ใช้ และมีจุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแยม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2561)



ภาพที่ 9.3 ลักษณะสีของแอมกระเจียบทั้ง 6 สูตร แอมชุดควบคุม (C1; A) แอมที่มีปริมาณ น้ำผักไชยา 0 (C2; B) 5 กรัม (C) 10 กรัม (D) 15 กรัม (E) และ 20 กรัม (F) ที่มา : Lichanporn และคณะ (2021)

9.3.2 เยลลี่

เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเคี้ยวน้ำผลไม้กับน้ำตาลจนมีลักษณะเป็นเจล ผลิตภัณฑ์ที่มีความใส โปร่งแสง และมีความคงตัวดีกว่าแยม ในเยลลี่ต้องมีส่วนของน้ำผลไม้หรือน้ำผักไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เยลลี่ที่มีขายในท้องตลาดมี 2 รูปแบบ (จุฑามาศ และคณะ, 2554) ได้แก่ เยลลี่ชนิดเหลว และเยลลี่แข็ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

9.3.2.1 เยลลี่ชนิดเหลว

เยลลี่ชนิดเหลวที่รับประทานเป็นอาหารว่าง (dessert jelly) เป็นเยลลี่ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม มีน้ำมาก ใช้ช้อนตักรับประทาน (ภาพที่ 9.4) หรือใช้หลอดดูดได้ รับประทานแบบแช่เย็นเป็นของหวานหรือรับประทานพร้อมไอศกรีม เยลลี่ประเภทนี้มีส่วนผสมของสารที่ทำให้เกิดเจลได้แก่ คาราจีแนน ผงบุก มีการเติมน้ำตาล กรดซิตริก สีผสมอาหาร และสารปรุงแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) ผลิตภัณฑ์มีทั้งรสหวานและรสเปรี้ยว เยลลี่เหลวนั้นควรมีลักษณะเป็นวุ้นเหลวสามารถใช้หลอดดูดได้ มีสีและกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้และสม่ำเสมอ ไม่มีกลิ่นแอลกอฮอล์ ปราศจากกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ และปริมาณจุลินทรีย์ต้องไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่เหลว (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบในท้องตลาดอาจเป็นผงเยลลี่ผสมสำเร็จรูปที่ผู้บริโภคนำมาผสมน้ำร้อนตามสัดส่วนแล้วแช่เย็นเพื่อให้เกิดเจล อีกรูปแบบหนึ่งคือเยลลี่ที่พร้อมรับประทานบรรจุถ้วยในภาชนะที่ปิดผนึกสนิท



ภาพที่ 9.4 เยลลี่ชนิดเหลว

ที่มา : ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

การาจี้แนนเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลเมื่อเติมในปริมาณที่เหมาะสมช่วยให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะกึ่งแข็ง การใช้การาจี้แนนร้อยละ 1 ในน้ำมะเขือเทศ น้ำแครอท และน้ำฟักทองร้อยละ 25 และน้ำกะหล่ำปลีม่วงร้อยละ 5 ได้รับการยอมรับและมีเจลมีลักษณะดีที่สุด (สุทธิวัฒน์ และคณะ, 2554) ส่วนเยลลี่ลองกองที่เติมการาจี้แนนทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด รวมทั้งค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่มีผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในเยลลี่ลองกองที่เติมการาจี้แนนร้อยละ 0.6 มีปริมาณสูงที่สุด ส่วนปริมาณเถ้าเมื่อเติมการาจี้แนนในเยลลี่ลองกองปริมาณร้อยละ 0.7 พบว่ามีปริมาณเถ้าสูงที่สุด (ตารางที่ 9.1)

ตารางที่ 9.1 คุณภาพทางเคมีของเยลลี่ลองกอง

การาจี้แนน (ร้อยละ)	คุณภาพทางเคมี			
	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	ความเป็น กรด-ด่าง	เถ้า (ร้อยละ)
0.3	2.73	29.00 ^{ab}	4.53	0.20 ^{ab}
0.4	2.73	28.68 ^b	4.54	0.28 ^{ab}
0.5	2.77	29.00 ^{ab}	4.54	0.12 ^b
0.6	2.83	29.33 ^a	4.54	0.28 ^{ab}
0.7	2.83	28.68 ^b	4.57	0.40 ^a

หมายเหตุ ^{a-b} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลคุณภาพทางเคมี ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งหมายถึงปริมาณคุณภาพทางเคมีของเยลลี่ลองกองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ที่มา: ญาดา และคณะ (2555)

9.3.2.2 เยลลี่แห้ง

เยลลี่แห้งหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ (cereal grain) หรือสมุนไพรมาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวาน (sweetener) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เช่น เจลาติน การาจี้แนน และวุ้น เมื่อเติมในปริมาณที่เหมาะสมช่วยให้ผลิตภัณฑ์อยู่

ในลักษณะแห้งและเหนียว อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพร เคี้ยวให้มีความชื้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม และอาจเพิ่มความแปลกใหม่ด้วยการแต่งสี กลิ่นรส นอกจากนี้อาจเทใส่พิมพ์หรือตัดเป็นชิ้นหลังจากทิ้งไว้ให้เย็นนำมาคลุกด้วยน้ำตาลหรือแป้งบริโภครับประทานเป็นขนมหวาน (confectionery jelly) เยลลี่ชนิดนี้มีเนื้อเหนียวหนึบแห้งไม่ติดมือดังภาพที่ 9.5



ภาพที่ 9.5 เยลลี่แห้ง

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

ผลิตภัณฑ์กัมมีและเยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ขนมหวานประเภทลูกกวาด แต่โดยทั่วไปมักเรียกรวมกันว่าเยลลี่เพราะมีความเหนียวนุ่มและต้องเคี้ยวกลืน การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยการใช้พืชสมุนไพร ดังเช่นตารางที่ 9.2 พืชสมุนไพร เช่น มะนาว ดอกอัญชัน และใบบัวบก มีคุณสมบัติในการต้านสารก่อมะเร็งและยังช่วยลดการดูดซึมคอเรสเตอรอล บำรุงสายตา และขับเสมหะได้อีกด้วย (นิจศิริ และพะยอม, 2534) จากตารางที่ 9.2 พบว่ามะนาวมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 262.40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม รองลงมาได้แก่ ดอกอัญชัน ใบบัวบก มะละกอสุก ตะไคร้ สับปะรด ขิงแก่ กระเจี๊ยบ กระทอน ดอกคำฝอย อบเชย และฝรั่ง ตามลำดับ (ร้อยละ 192.22–26.95) ส่วนปริมาณของกรดฟีนอลของพืชสมุนไพรมีปริมาณ 3.12–246.32 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ยังพบว่าคำฝอยมีปริมาณโปรตีน

สูงสุด คือ ร้อยละ 10.11 และใบบัวบก มีใยอาหารสูงสุดคือ ร้อยละ 2.61 ซึ่งค่าองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชสมุนไพร (นิจศิริ และพะยอม, 2534)

ตารางที่ 9.2 องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพรชนิดต่าง ๆ

ชนิดของ น้ำ สมุนไพร	องค์ประกอบทางเคมี						
	โปรตีน (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	ใยอาหาร (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	สารต้าน อนุมูล อิสระ*	ฟีนอล (มิลลิกรัม/100 กรัม)
มะนาว	0.4	0.35	< 0.01	0	8.42	262.40	246.32
อัญชัน	–	–	< 0.01	–	–	192.22	5.81
ตะไคร้	1.19	1.42	–	2.12	29.62	122.79	117.21
มะละกอ	0.7	0.63	–	0.11	8.60	189.21	5.23
อบเชย	3.32	4.12	0.97	1.01	76.40	42.11	3.12
ใบบัวบก	1.91	1.71	2.61	0.89	9.53	190.12	98.87
ขิง	0.41	0.29	0.76	0.59	5.18	112.31	39.97
กระเทียม	0.43	–	1.02	0.72	13.1	99.87	20.12
ฝรั่ง	–	–	–	–	–	26.95	3.92
คำฝอย	10.11	10.63	–	13.52	14.21	47.91	5.42
สับปะรด	0.72	–	0.51	0.32	11.72	119.56	58.98
กระเจี๊ยบ	1.73	0.22	1.31	0.10	10.21	111.31	89.14

* หน่วยนับมีค่าเท่ากับ มิลลิกรัม/ลิตร Trolox equivalent /100 กรัม

ที่มา: น้ำทิพย์และคณะ (2555)

ตารางที่ 9.3 น้ำเปลือกแก้วมังกรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์กัมมีจากน้ำเปลือกแก้วมังกรที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 มีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 131.95 มิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิก และร้อยละ 49.89 ตามลำดับ โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสในส่วน of ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (ร้อยละ 0) โดยมีจุดเด่นและได้รับการยอมรับด้านสีแดงในผลิตภัณฑ์กัมมีมากที่สุด

ตารางที่ 9.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีจากน้ำเปลือกแก้วมังกรที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 50 และ 100

น้ำเปลือกแก้ว มังกร (ร้อยละ)	ลักษณะเนื้อสัมผัส			
	ความสามารถใน การคินตัว (มิลลิเมตร)	การยึดเกาะกัน ของเนื้อ (มิลลิเมตร)	ความเหนียว (กิโลกรัม)*	ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร)*
0	0.99±0.01	0.93±0.02	2.27 ^c ±0.06	2.24 ^b ±0.05
50	0.98±0.01	0.91±0.06	2.88 ^a ±0.28	2.82 ^a ±0.31
100	0.95±0.02	0.89±0.01	2.51 ^b ±0.03	2.39 ^b ±0.05

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ที่มา: อินทรา และคณะ (2560)

การผลิตเยลลี่แห่งนั้นต้องมีคุณลักษณะที่ดีเป็นชิ้นแข็งไม่เกาะติดกันมีสีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบไม่มีสิ่งแปลกปลอมและมีจุลินทรีย์ต่าง ๆ ไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่แห่ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

ส่วนประกอบของเยลลี่คล้ายกับแยมคือน้ำผักหรือน้ำผลไม้ กรดอินทรีย์ เพกทิน และน้ำตาล ขั้นตอนการผลิตเยลลี่ โดยนำน้ำผักหรือผลไม้ที่ตัดแต่งแล้วมาต้ม ความร้อนช่วยทำลายเอนไซม์เพกตินเอสซึ่งเอนไซม์ตัวนี้ซึ่งทำให้การจับตัวเป็นเจลของเยลลี่ลดลง ต่อมาทำการกรองน้ำ

ผลไม้ด้วย ผ่าขาวบาง 3 – 4 ชั้น เพื่อให้ น้ำผลไม้มีความใส และต้องกรองขณะร้อนเพื่อไม่ให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้นทำให้กรองยาก จากนั้นเคี่ยวน้ำผลไม้กับน้ำตาลให้เข้มข้นตามต้องการพร้อมทั้งเติมเพกทิน และกรดลงในส่วนผสม เยลลี่ควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 65 เมื่อส่วนผสมมีอุณหภูมิประมาณ 104 – 105 องศาเซลเซียส และบรรจุใส่ภาชนะเมื่ออุณหภูมิลดลงไม่ต่ำกว่า 87.8 องศาเซลเซียส

9.3.3 มาร์มาเลด

มาร์มาเลดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายเยลลี่ แต่มีชิ้นผลไม้เล็ก ๆ หรือเปลือกผลไม้บางชนิดผสมอยู่ด้วย มาร์มาเลดที่เห็นโดยทั่วไปเป็นมาร์มาเลดที่ทำจากพีชตระกูลส้มเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีเพกทินและกรดสูง การผลิตมาร์มาเลดเตรียมโดยการหั่นผลไม้บาง ๆ ทั้งเนื้อและเปลือกต้มให้นุ่มก่อน และเป็นการกำจัดรสขม บีบน้ำออกหลายๆ ครั้งเติมน้ำหรือเปลือกลงในน้ำผลไม้ แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 – 20 นาที แล้วจึงเติมน้ำตาลลงไปเคี่ยว เพื่อระเหยน้ำจนกระทั่งส่วนผสมมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 65 จึงบรรจุใส่ภาชนะ

เพกทินและน้ำตาลมีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยสารประกอบทางชีวภาพเป็นสารพื้นฐานที่เรียกว่าสารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ซึ่งมีอยู่ในพืชเป็นกลุ่มที่มีวิตามินและกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล ฟีนอลเป็นวงแหวนที่มีไฮดรอกซิล (OH) หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งกลุ่ม จำแนกเป็นฟลาโวนอยด์ (flavonoids) หรือไม่ใช่ฟลาโวนอยด์ (non-flavonoids) (Crozier และคณะ, 2006) ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มที่รวมแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ฟลาโวนอล (flavanols) แทนนิน (tannins) และกรดฟีนอลิก ซึ่งการแปรรูปแยม เยลลี่ และมาร์มาเลด มีผลต่อสารชีวภาพเหล่านี้ จากการแปรรูปแยมสตอเบอรี่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 – 60 นาที ส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอลร้อยละ 45 – 63 (Kovacevic และคณะ, 2009) และการแปรรูปแยมราสเบอรี่ที่อุณหภูมิ 55 – 85 องศาเซลเซียส สูญเสียสารประกอบฟีนอลร้อยละ 7 (Mazur และคณะ, 2014) ส่วนแยมบลูเบอร์รี่สูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 13 – 16 ระหว่างการแปรรูปที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 20 – 30 นาที (Scibisz และ Mitek, 2009) นอกจากการแปรรูปทำให้เกิดการสูญเสียสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพแล้ว ในระหว่างการเก็บรักษาแยมและเยลลี่ยังมีการสูญเสียเกิดขึ้นเช่นกัน ตัวอย่างแยมบลูเบอร์รี่เก็บที่ 6 องศาเซลเซียส นาน 6 สัปดาห์ มีการ

สูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 15 – 31 และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส สูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระถึงร้อยละ 33 – 50 (Scibisz และ Mitek, 2009)

ปริมาณฟีนอลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แยมระหว่างการเก็บรักษามีปริมาณลดลงมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิที่สูงในการเก็บรักษาโดยเฉพาะเมื่อเก็บแบบลคเบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สูญเสียปริมาณฟีนอลถึงร้อยละ 7 – 10 มากกว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (Moura และคณะ, 2012) มีงานวิจัยบางเรื่องพบว่าปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในแยมแบบลคเบอร์รี่มีปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาผ่านไปเก้าเดือนที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับแยมราดเบอร์รี่ลดแคลอรีมีฟีนอลเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 – 13 หลังเก็บรักษาผ่านไป 6 เดือนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในห้องมืดทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการไฮโดรไลต์ ellagitannins ไปเป็นกรด ellagic ระหว่างการเก็บรักษาซึ่งกรด ellagic มีการรีดิวซ์มากกว่า ellagitannins (Savikin และคณะ, 2009; Mazur และคณะ, 2014)

9.4 ผักและผลไม้กวน

การกวนเป็นวิธีการถนอมอาหาร โดยผสมผักหรือผลไม้กับน้ำตาล และใช้ความร้อนเคี่ยวกวนจนปริมาณน้ำน้อยลง และผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ผักและผลไม้กวนสามารถเก็บไว้ได้นานเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลสูงถึงร้อยละ 75 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ผักและผลไม้ที่นิยมนำมากวน ได้แก่ สับปะรด ทูเรียน พุทรา มะม่วง มะละกอ ฟักทอง และมันเทศ เป็นต้น

9.4.1 ขั้นตอนการผลิตผลไม้กวน

โดยคัดเลือกผลไม้ที่แก่จัดสุกงอม เนื้อมีนุ่ม ช่วยให้ผลไม้กวนรสชาติดี มีกลิ่นหอม ส่วนผักที่มีแข็งมาก เช่น ฟักทอง มันเทศ และเผือกควรนำมานึ่งให้สุกก่อน และบดเนื้อให้ละเอียด ในขณะที่ผลไม้จำพวกมะม่วง และสับปะรดควรนำมาบดสับ หรือหั่นให้มีขนาดเล็กลงก่อนนำไปกวน การกวนนั้นอาจเติมน้ำตาลกับน้ำในมะละกอหรือพุทรา หรือกวนโดยใช้น้ำตาลกับกะทิในฟักทองหรือเผือก และการกวนโดยใช้น้ำตาลอย่างเดียวในสับปะรด มังคุด และทูเรียน เป็นต้น การกวนต้องใช้ไฟอ่อนเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ไหม้ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะเนียนและเหนียว ผักและผลไม้กวนบรรจุใน กระดาษแก้ว ขวดแก้ว หรือพลาสติกใส (ภาพที่ 9.6) ที่ป้องกันความชื้น เก็บรักษาในที่แห้งสะอาด ไม่ถูกแสงแดด



ภาพที่ 9.6 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับผลไม้กวน
ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

9.4.2 ตัวอย่างผลไม้กวน

9.4.2.1 สับปะรดกวน

สูตรการผลิตสับปะรดกวนลดน้ำตาลโดยใช้สารทดแทนความหวาน 2 ชนิด ได้แก่ มอลติทอลและมอลโตเดกซ์ตริน ในสัดส่วนของมอลติทอลต่อมอลโตเดกซ์ตริน 4 ระดับ (10:90 30:70 40:60 และ 50:50) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-Point hedonic scale พบว่าคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะของสับปะรดกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยสัดส่วนของมอลติทอลต่อมอลโตเดกซ์ตรินเท่ากับ 30:70, 40:60 และ 50:50 นั้นไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากสับปะรดกวนสูตรพื้นฐาน อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะของสับปะรดกวนที่ทดแทนน้ำตาลด้วยการใช้สัดส่วนมอลติทอลต่อมอลโตเดกซ์ตริน 40:60 มีคะแนนสูงที่สุดและมีค่าคะแนนความชอบรวมอยู่ที่ระดับชอบมาก (7.67) คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่าความแข็ง และค่าวอเตอร์แอคติวิตีเท่ากับ 25.6 3.18 3.34 254.74 กรัม และ 0.7 ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่ามีค่าพลังงานทั้งหมด ปริมาณน้ำตาล และโซเดียมน้อยกว่าสูตรพื้นฐานร้อยละ 6 76.8 และ 32.7

ตามลำดับ ในขณะที่ใยอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 441.5 นอกจากนี้ยังพบว่ามีความชื้นน้ำตาลลดลงอีกด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จึงเป็นอีกทางเลือกสำหรับผู้รักษาสุขภาพ เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำตาล (ณัฐิรา และคณะ, 2557)

9.4.2.2 มะม่วงกวน

สูตรมะม่วงกวนโดยใช้มะม่วงสุก เกลือ แบะแซ และกรดซิตริกปริมาณ 1000 5 15 และ 7.5 กรัม ตามลำดับ โดยนำมะม่วงสุกมาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นเล็ก นำไปปั่นให้ละเอียดเนื้อเนียน นำเนื้อมะม่วงที่ปั่นละเอียดใส่ในหม้ออลูมิเนียมหรือกระทะทองเหลือง เติมเกลือและกรดซิตริก ใช้ไฟอ่อน ค่อยๆ กวนจนเริ่มเหนียว ส่วนผสมยังมีสีเหลืองอ่อน ๆ กวนจนพองอากาศหาย จากนั้นเติมแบะแซ และกวนต่อจนหนืด ปิดไฟ รอส่วนผสมให้เย็น ตักมา 1 ทฟพีเกลียวเป็นวงกลมแผ่เป็นแผ่นบางๆ ใส่ถาดอลูมิเนียมที่หุ้มด้วยถุงร้อน ตากแดด 1 – 2 วัน จนแห้งหรืออบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 – 5 ชั่วโมง บรรจุใส่ภาชนะบรรจุ เช่น ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ หรือถาดพลาสติก (ภาพที่ 9.7)



ภาพที่ 9.7 การผลิตมะม่วงกวนและบรรจุภัณฑ์ของมะม่วงกวน

ที่มา: ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

9.5 การควบคุมคุณภาพของผักและผลไม้ที่ใช้น้ำตาล

ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่ใช้น้ำตาล เช่น ผลไม้แช่อิ่ม แยม เยลลี่ มาร์มาเลด และผลไม้กวน มีอายุการเก็บรักษานานมาจากผลของน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามคุณภาพทั้งกายภาพ และเคมีสูญเสียไประหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวบ่งชี้อายุการเก็บรักษาเช่นกัน

9.5.1 คุณภาพด้านกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลได้แก่ สี และเนื้อสัมผัส เป็นต้น

9.5.1.1 สี

สีของผลิตภัณฑ์เป็นตัวชี้วัดคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปที่ใช้น้ำตาลมาใหม่ ๆ สีจะยังคงสดใส แต่เมื่อเวลาผ่านไปสีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปเข้มขึ้นหรือจางลงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ระยะเวลาในการเก็บรักษา แสงและความชื้น เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสี เช่น แผ่นเทียบสีมาตรฐาน และเครื่องวัดสี hunter lab ซึ่งแสดงผลเป็นค่าความสว่าง (L^*) มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 (0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว) ค่าสีเขียวเมื่อค่า a^* ติดลบ และสีแดงเมื่อค่า a^* มีค่าเป็นบวก ค่า b^* เป็นสีน้ำเงินเมื่อ b^* ติดลบ และสีเหลืองเมื่อค่า b^* เป็นบวก เยลลี่ลองกองที่มีการเติมปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 0.5 มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 12.90 -13.87 และ 8.17 เยลลี่ลองกองมีสีขาวตามสีของเนื้อลองกอง (ญาดา และคณะ, 2555) ส่วนกัมมี่ที่ผลิตจากสารสกัดหัวบีทร้อยละ 0.3 และมีเจลแลนกัม (gellan gum) ร้อยละ 1.5 มีค่า L^* เท่ากับ 37.00 สีของกัมมี่จากสารสกัดหัวบีทที่มีสีแดงของ betalains และแสดงความสัมพันธ์เชิงลบของจำนวน betalains และค่า L^* ในขณะที่ค่า a^* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ betalains ซึ่งการใช้สารสกัดจากหัวบีทที่มีสีแดงและเจลแลนกัมช่วยเพิ่มความมันวาวของกัมมี่ และดึงดูดใจผู้บริโภคมากขึ้น (Kia และคณะ, 2020) อย่างไรก็ตามโดยมากแล้วสีของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิตดังตารางที่ 9.4 แยมเคพกูสเบอร์รี่มีสีเหลืองสูงกว่าแยมเสาวรสมผสมเคพกูสเบอร์รี่ กัมมี่เยลลี่ดาหลา และสับปะรดกวน ตามลำดับ

ตารางที่ 9.4 ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของแยม เยลลี่ และผลไม้กวน

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
แยมเคปกูสเบอร์รี่*	27.50	10.36	40.72
แยมเสาวรสมผสมเคปกูสเบอร์รี่**	36.08	4.95	24.35
กัมมีเยลลี่ดาหลา***	31.90	11.59	9.39
สับปะรดกวน****	25.60	0.84	1.38

ที่มา: *รัชนีและคณะ (2561), **จุฑามาศ และคณะ (2558), ***กมลทิพย์ (2561), ****ณัฐิรา และคณะ (2557)

สีของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปโดยใช้น้ำตาลนอกจากวัดด้วยเครื่องวัดสีแล้วยังสามารถวัดได้ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งวิเคราะห์จากปริมาณแอนโทไซยานินเป็นค่าความหนาแน่นของสี (color density) สีพอลิเมอร์ (polymeric color) และนำไปคำนวณเป็นร้อยละสีของพอลิเมอร์ ตัวอย่างสีของผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอร์รี่ และเชอร์รี่เปลี่ยนไปตามปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเมื่อเก็บรักษา 1 เดือนความเข้มของสีลดลงร้อยละ 4 – 7.5 หลังจากเก็บรักษานาน 3 เดือน ความเข้มของสีลดลงถึงร้อยละ 7 – 11 การวัดสีของผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอร์รี่ และเชอร์รี่ใช้ค่าความหนาแน่นของสี สีพอลิเมอร์ และร้อยละของสีพอลิเมอร์ ดังตารางที่ 9.5 แสดงอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพด้านสีของแยม โดยแยมทั้ง 3 ชนิดที่เก็บรักษานาน 3 เดือน มีค่าความหนาแน่นของสีไม่ต่างกัน ส่วนสีพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นและสัมพันธ์กับการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานิน ร้อยละของสีพอลิเมอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 12 – 17 เมื่อเก็บรักษาแยมนาน 1 เดือน และหลังจาก 3 เดือน เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 39 – 63 โดยเฉพาะแยมสตรอเบอร์รี่มีค่าสูง ส่วนเชอร์รี่หวาน และเปรี้ยวไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 9.5 อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อคุณภาพด้านสีของ
แยม

แยม	ความหนาแน่นของสี		
	แยมหลังแปรรูป 1 วัน	แยมเก็บรักษา 1 เดือน	แยมเก็บรักษา 3 เดือน
แยมสตอเบอรี่	2.811±0.320 (F=0.29)	3.524±0.360 ^{ns}	3.389±0.320 ^{ns}
เชอร์รี่หวาน	4.703±0.390 (F=0.29)	4.447±0.410 ^{ns}	4.311±0.390 ^{ns}
เชอร์รี่เปรี้ยว	5.503±0.470 (F=0.02)	5.278±0.480 ^{ns}	5.102±0.450 ^{ns}
แยม	สีพอลิเมอร์		
	แยมหลังการเตรียม	แยมเก็บรักษา 1 เดือน	แยมเก็บรักษา 3 เดือน
แยมสตอเบอรี่	0.48±0.05 (F=0.82)	0.52±0.035 ^{ns}	0.7±0.06**
เชอร์รี่หวาน	0.53±0.04 (F=0.40)	0.57±0.037 ^{ns}	0.69±0.05**
เชอร์รี่เปรี้ยว	0.55±0.06 (F=5.38)	0.59±0.04 ^{ns}	0.71±0.08*
แยม	ร้อยละของสีพอลิเมอร์		
	แยมหลังการเตรียม	แยมเก็บรักษา 1 เดือน	แยมเก็บรักษา 3 เดือน
แยมสตอเบอรี่	12.60±1.15 (F=0.76)	14.76±1.35 ^{ns}	20.66±1.82**
เชอร์รี่หวาน	11.27±1.08 (F=0.08)	12.82±1.14 ^{ns}	16.01±1.45**
เชอร์รี่เปรี้ยว	9.99±0.88 (F=0.44)	11.18±1.02 ^{ns}	13.92±1.24**

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย, ชุดควบคุมคือแยมหลังการแปรรูป 1 วัน (0 เดือน)

Ns= ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.1), *=แตกต่างทางสถิติที่ P<0.05,

**=แตกต่างทางสถิติที่ P<0.01, F= Fischer's variance ratio

ที่มา: Poiana และคณะ (2011)

9.5.1.2 เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยที่บ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ เครื่องมือในการวัดเนื้อสัมผัส ได้แก่ เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analysis) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปโดยใช้น้ำตาล เช่น กัมมี่ จากเปลือกแก้วมังกรเมื่อวัดเนื้อสัมผัสจากค่าความสามารถในการคืนตัว (springiness) ค่าการยึดเกาะกันของเนื้อ (cohesiveness) ส่วนค่าความเหนียว (gumminess) และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) จากตารางที่ 9.6 ความสามารถในการคืนตัวและการยึดเกาะกันของเนื้อผลิตภัณฑ์กัมมี่ จากน้ำเปลือกแก้วมังกรร้อยละ 0 50 และ 100 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่กัมมี่จากเปลือกแก้วมังกรร้อยละ 50 มีค่าความเหนียวและค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวเพิ่มขึ้นมากกว่า ผลิตภัณฑ์กัมมี่จากน้ำเปลือกแก้วมังกรร้อยละ 0 และ 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อปริมาณน้ำเปลือกแก้วมังกรเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเปรี้ยวลดลง ความแข็งแรงของเจลและความหนืดลดลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 9.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมี่จากเปลือกแก้วมังกรที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 50 และ 100

น้ำเปลือกแก้ว มังกร (ร้อยละ)	ความสามารถใน การคืนตัว (มิลลิเมตร)	การยึดเกาะกันของเนื้อ (มิลลิเมตร)	ความเหนียว (กิโลกรัม)	ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร)
0	0.99±0.01	0.93±0.02	2.27 ^c ±0.06	2.24 ^b ±0.05
50	0.98±0.01	0.91±0.06	2.88 ^a ±0.28	2.82 ^a ±0.31
100	0.95±0.02	0.89±0.01	2.51 ^b ±0.03	2.39 ^b ±0.05

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ที่มา: อินทิรา และคณะ (2560)

9.5.2 คุณภาพด้านเคมี

ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่ม แยม เยลลี่ มาร์มาเลด และผลไม้กวนมีการใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้นสูง ร้อยละ 65 – 72 ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแยมได้กำหนดปริมาณสารละลายได้ทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 และมีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.0 – 3.2 ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เมื่อเก็บรักษานานขึ้นย่อมมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี โดยแยมกระเจียบมีค่าความเป็นกรด-ด่าง วิตามินซี และเถ้าลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังตารางที่ 9.7

ตารางที่ 9.7 องค์ประกอบทางเคมีของแยมกระเจียบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

องค์ประกอบทางเคมี	ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)			
	0	2	4	6
ความเป็นกรด-ด่าง	2.82	2.79	2.75	2.59
ความชื้น (ร้อยละ)	34.03	33.88	33.95	34.09
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)	1.71	1.76	1.80	2.13
วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	28.82	26.82	24.62	23.06
เถ้า (ร้อยละ)	0.81	0.77	0.74	0.69

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ashaye และ Adeleke (2009)

ผักและผลไม้เป็นแหล่งของสารอาหารต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายถึงแม้จะผ่านการแปรรูปแล้วยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการ ผลไม้ในตระกูลเบอร์รี่ เช่น บลูเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ และกุสเบอร์รี่เป็นแหล่งของวิตามินซี สารประกอบฟีนอล เช่น แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระ แยมกุสเบอร์รี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 140.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 12 เดือน ปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงเหลือ 74.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งลดลงถึงร้อยละ 32

เช่นเดียวกับปริมาณฟลาโวนอยด์จาก 25.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อผ่านไป 12 เดือนลดลงเหลือ 13.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีหนึ่งในการช่วยชะลอการสูญเสียคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะแยมกุดเบอร์รี่เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และวิตามินซีสูงกว่าแยมที่เก็บอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Banas และคณะ, 2018) แยมที่ผลิตจากผลไม้ชนิดเดียวอาจให้คุณค่าทางอาหารน้อยกว่าการเติมผลไม้หลายชนิด ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใยสูง เช่น การผสมน้ำแตงโมและเนื้อมะละกอเพื่อผลิตแยมในอัตราส่วนที่เพิ่มเนื้อมะละกอและลดน้ำแตงโม พบว่าส่วนผสมที่มีน้ำแตงโมต่อเนื้อมะละกอ (90:10) มีความชื้น โปรตีน ไขมัน ไขมัน และเส้นใยสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงจึงเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับแยมได้ (ตารางที่ 9.8)

ตารางที่ 9.8 องค์ประกอบทางเคมีของแยม (ร้อยละ)

อัตราส่วน แตงโมต่อ มะละกอ	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	ไขมัน	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
90:10	34.7±0.18	0.8±0.03	0.40±0.03	1.70±0.13	0.30±0.05	62.10±0.18
80:20	33.6±0.15	0.7±0.03	0.38±0.03	1.63±0.12	0.22±0.03	63.47±0.20
70:30	32.7±0.14	0.6±0.03	0.36±0.03	1.51±0.10	0.21±0.03	64.62±0.21
60:40	31.9±0.13	0.5±0.02	0.34±0.03	1.44±0.08	0.15±0.02	65.67±0.22
50:50	30.6±0.10	0.5±0.02	0.32±0.03	1.31±0.06	0.11±0.01	67.16±0.24
ชุดควบคุม	35.3±0.20	0.4±0.01	0.20±0.01	1.20±0.05	0.10±0.01	62.8±0.18

ที่มา: Adedeji (2017)

9.5.3 คุณภาพด้านจุลินทรีย์

จุลินทรีย์หลายชนิดทนต่อปริมาณน้ำตาลสูงได้ เช่น *Sacchromyces roaxii* และ *Torulopsis* ดังนั้นอาหารที่มีน้ำตาลสูงอย่างเช่นแยมหรือผลไม้กวนจึงเกิดการเสื่อมเสียในระหว่างการเก็บรักษาจากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของแยมมะเฟืองที่มีส่วนผสมเป็นเนื้อมะเฟือง และน้ำตาลโดยไม่ใส่สารกันบูด แยมมะเฟืองเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรตดังนั้นจึงมีความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ และเชื้อรา แยมมีจำนวนเชื้อยีสต์และราลดลงเมื่อเก็บรักษา 20 วัน โดยเฉพาะเชื้อ *Bacillus cereus* และ *Saccharomyces cerevisiae* แยมที่บ่มเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นบ่งชี้ว่าความเข้มข้นของน้ำตาลในแยมร้อยละ 60 เพียงพอสำหรับการยับยั้งการเน่าเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำตาลในระดับนี้ทำให้จุลินทรีย์ เช่น *B. cereus* และ *S. cerevisiae* ไม่สามารถอยู่รอดได้ในผลิตภัณฑ์แยม (ตารางที่ 9.9)

ตารางที่ 9.9 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในของแยมมะเฟืองที่บ่มเชื้อ 1 วัน และแยมที่ไม่ได้บ่มเชื้อ (ชุดควบคุม)

วัน	แยมที่บ่มเชื้อ				แยมไม่บ่มเชื้อ (ชุดควบคุม)	
	<i>B. cereus</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. cerevisiae</i>	Yeast	Bacteria
	(cfu/gm)	(cfu/gm)	(cfu/gm)	(cfu/gm)	(cfu/gm)	(cfu/gm)
0	2×10^3	2.5×10^3	3×10^3	1×10^3	20	12
5	257	35	60	40	20	7
10	213	16	13	20	15	5
15	191	0	0	3	2	0
20	163	0	0	0	0	0

ที่มา: Disha และคณะ (2017)

ตารางที่ 9.10 ปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์แยมที่มีส่วนผสมของมะพร้าวและสับปะรด ในภาชนะขวดแก้วไม่พบเชื้อจุลินทรีย์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิห้องเย็น แต่พบเชื้อยีสต์และราจำนวน 2.6×10^2 2×10^2 และ 2.3×10^2 โคโลนีต่อกรัม ในแยมสูตรที่มีส่วนผสมของมะพร้าวต่อสับปะรดในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 25:75 และ 75:25 ที่บรรจุในภาชนะพลาสติก ดังนั้นภาชนะบรรจุจึงมีความสำคัญยิ่งในการช่วยป้องกันเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะควรใช้แก้วในการบรรจุแยม

ตารางที่ 9.10 ปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์แยม

แยมที่มีส่วนผสมของ มะพร้าวต่อสับปะรด (ร้อยละ)	ยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)			
	อุณหภูมิห้อง		อุณหภูมิห้องเย็น	
	ภาชนะบรรจุ ขวดแก้ว	ภาชนะบรรจุ พลาสติก	ภาชนะบรรจุ ขวดแก้ว	ภาชนะบรรจุ พลาสติก
50:50	0	2.6×10^2	0	0
25:75	0	2×10^2	0	0
75:25	0	2.3×10^2	0	0

ที่มา: Rana และคณะ (2021)

9.6 บทสรุป

การแปรรูปผักและผลไม้โดยการใช้น้ำตาลเป็นการถนอมอาหารอย่างหนึ่งที่คุณสมบัติของน้ำตาลด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยปกติปริมาณน้ำอิสระในอาหารส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้น้ำในอาหารในการเจริญเติบโต การใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูงในการถนอมอาหารได้แก่ การแช่อิ่มแบ่งเป็นการแช่อิ่มแบบเร็วซึ่งลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้เนื้อมีและ การแช่อิ่มแบบช้าลักษณะเนื้อไม่และเหมือนการแช่อิ่มแบบเร็ว แยมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนของผักและผลไม้นำมาต้มกับน้ำตาล เพกติน และกรด เคี้ยวจนเกิดเป็นเจลมีปริมาณของแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 65-68.5 เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเคี้ยวน้ำผลไม้กับน้ำตาลจนมีลักษณะเป็นเจล แบ่งเยลลี่เป็น 2 รูปแบบคือเยลลี่

ชนิดเหลว และเยลลี่ชนิดแข็ง มาร์มาเลดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพืชตระกูลส้มคล้ายเยลลี่ ส่วนผักและผลไม้กวนเป็นการนำผักหรือผลไม้ผสมกับน้ำตาล กวนจนมีปริมาณน้ำน้อยโดยมีน้ำตาลสูงถึงร้อยละ 75

แบบฝึกหัด

1. ผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ และมาร์มาเลดแตกต่างกันอย่างไร
2. อธิบายการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์แยมเกิดได้อย่างไร
3. การเชื่อมแบบช้าและแบบเร็วมีข้อดีอย่างไร
4. เยลลี่แห้งหมายถึงอะไร
5. จงยกตัวอย่างผลไม้กวนที่ใช้น้ำตาลร่วมกับกะทิในการกวน

เอกสารอ้างอิง

- กมลทิพย์ กระไพเราะ. (2561). ผลของการใช้สารทดแทนน้ำตาลต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่ด้าหลา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(2), 944-968.
- จุฑามาศ นิวัฒน์, ปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล, และณัฐภูมิ ดอนลาว. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมผลไม้เพื่อสุขภาพของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านห้วยน้ำกั้น อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, 3(2), 151-159.
- จุฑามาศ พิรพัชระ, ชนิตา ประจักษ์จิตร, ศทิญญาธิ์ สุชาเจริญสุข, และมุสดี สุชาเจริญสุข. (2554). ความรู้เรื่องเยลลี่ (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20122141354261.pdf>. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2563.
- ญาดา เอกสุวรรณ, พนิดา หล้าบางช้าง, จุฑามาศ สุทธิรักษ์, และอินทิรา ลิจันทรพร. (2555). ผลของการจี้แวนต่อคุณภาพของเยลลี่ลองกอง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(2)(พิเศษ), 485-488.
- ณัฐรา อ่อนน้อม, สวามินี นวลแขกกุล, และปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์. (2557). การพัฒนาสูตรสับปะรดกวนลดน้ำตาลโดยใช้สารทดแทนความหวาน. *วิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2)(พิเศษ), 621-624.
- น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป, สุขสมาน สังโยคะ, และปรีนา น้อยทัพ. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่สมุนไพรที่มีฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ. *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Science*, 13(1), 34-41.
- นิจศิริ เรืองรังสี, และพะยอม ตันติวิวัฒน์. (2534). *พืชสมุนไพร*. โอ เอสพรีนติ้ง เฮ้าส์.
- ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน. (2556). *เทคโนโลยีผักและผลไม้*. โอเดียนสโตร์.
- รัชนี ไสยประจง, สุรพงษ์ พิณจกลาง, และวิจิตรา บำรุงนอก. (2561). การพัฒนาแยมแครอทกุสเบอรี่พลังงานต่ำสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 49(2)(พิเศษ), 65-68.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 518. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่เหลว. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 520. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่แข็ง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 342. (2561). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแยม. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ, ณัฐพัฒน์ วัฒนภักฐา, ผาณิต ไทยยันโต, และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(2)(พิเศษ), 509–512.
- สุภาพร อภิรัตน์านุสรณ์. (2554). การพัฒนาแยมมังคุดเคลือบน้ำตาลส้มเปลือกมังคุด. *วารสารวิจัยขอนแก่น*, 16(7), 825–834.
- อินทรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, และอัญชลินทร์ สิงห์คำ. (2560). การพัฒนากัมมี่จากเปลือกแก้วมังกร. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 5* (หน้า 403–408). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม.
- Adedeji, T. (2017). Development and quality evaluation of Jam from Watermelon (*Citrullus Lanatus* and Pawpaw (*Carica Papaya*) juice. *Archive of Food and Nutritional Science*, 1, 063–071. <https://doi.org/10.29328/journal.afns.1001010>
- Ashaye, O.A., & Adeleke, T.O. (2009). Quality attributes of stored Roselle jam. *International Food Research Journal*, 16, 363–371.
- Banas, A., Korus, A., & Tabaszewska, M. (2018). Quality assessment of low-sugar jams enriched with plant raw materials exhibiting health-promoting properties. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 408–417.
- Crozier, A., Jaganath, I.B., & Clifford, M.N. (2006). Polyphenols and tannins: An overview. In A. Crozier, M.N. Clifford, and H. Ashihara (Eds.), *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet* (Ed., pp. 1–24). Blackwell.
- Disha, T., Ashok, W., Dias, N., & Roopal, K. (2017). Production of nutritious jam by using an underutilized fruit avverhoa carambola (star fruit). *International Journal of Advanced Research*, 5(1), 2852–2856.
- Kia, E.M., Ghaderzadeh, S., Langroodi, A.M, Ghasempour, Z., & Ehsani, A. (2020). Red beet extract usage in gelatin/gellan based gummy candy formulation

- introducing *Salix aegyptiaca* distillate as a flavouring agent. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3355–3362.
- Kovacevic, D.B., Levaj, B., & Dragovic-Uzelac, V. (2009). Free radical scavenging activity and phenolic content in strawberry fruit and jam. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74, 155–159.
- Lichanporn, I., Nantachai, N., Tunganurat, P., & Akkarakultron, P. (2021). Effect of concentrated chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) vegetable juice on quality of reduced sugar roselle jam. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, 20(2), 1–11.
- Mazur, S.P., Nes, A., Wold, A.B., Remberg, S.F., Martinsen, B.K., & Aaby, K. (2014). Effect of genotype and storage time on stability of colour, phenolic compounds and ascorbic acid in red raspberry (*Rubus idaeus* L.) jams. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science*, 64, 442–453.
- Moura, S.C.S.R., De, Tavares, P.E.D.R., Germer, S.P.M., Nisida, A.L.A.C., Alves, A.B., & Kanaan, A.S. (2012). Degradation kinetics of anthocyanin of traditional and low-sugar blackberry jam. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2488–2496.
- Poiana, M., Modgradean, D., Dogaru, D., Mateescu, C., Raba, D., & Gergen, I. (2011). Processing and storage impact on the antioxidant properties and color quality of some low sugar fruit jams. *Romanian Biotechnological Letters*, 16(5), 6504–6512.
- Rana, M.S., Yeasmin, F., Khan, M.J., & Riad, M.H. (2021). Evaluation of quality characteristics and storage stability of mixed fruit jam. *Food Research*, 5(1), 225–231.
- Savikin, K., Zdunic, G., Jankovic, T., Tasic, S., Menkovic, N., Stevic, T., & Dordevic, B. (2009). Phenolic content and radical scavenging capacity of berries and related jams from certificated area in Serbia. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64, 212–217.

Scibisz, I., & Mitek, M. (2009). Effect of processing and storage conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of high bush blueberry jams. *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, 59, 45–52.

บทที่ 10 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเฉพาะผักและผลไม้ เช่น สับปะรดกล้วย มะม่วง เงาะ และข้าวโพด หลังจากผ่านขั้นตอนการแปรรูปส่วนที่รับประทานไม่ได้ เช่น เปลือก เมล็ด และเศษเนื้อที่ไม่ได้มาตรฐานนับรวมแล้วเป็นเงินที่ต้องลงทุนในการกำจัดทิ้งทั้งค่าขนส่งและค่าทำลาย ดังนั้นการนำของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผักและผลไม้มาเพิ่มมูลค่าและใช้ให้เป็นประโยชน์ช่วยลดต้นทุนให้ภาคอุตสาหกรรมได้ทางหนึ่ง โดยสามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ การผลิตเป็นอาหาร ตลอดจนนำไปสกัดสารหลายชนิด ได้แก่ การสกัดเพกตินจากเปลือกผลไม้ การสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วย และการสกัดใยอาหาร เป็นต้น

10.1 ความหมายและความสำคัญของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หมายถึง วัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของเกษตรกร ซึ่งถูกทิ้งไว้ในเรือกสวนไร่ นา เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นกล้วย มันสำปะหลัง และเหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น นอกจากนั้นยังรวมถึงของเหลือทิ้งจากการผ่านกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้อย่างน้อยต้องผ่านการตัดแต่งหรือบางครั้งแปรรูปมากขั้นตอน เช่น การปอกเปลือก ก่อนนำไปถนอมอาหารโดยการแช่เย็น แช่แข็ง หรือ บรรจุกระป๋อง วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมากซึ่งมีปริมาณของเหลือทิ้งค่อนข้างสูง ถ้าไม่มีการจัดการที่ดีเป็นสาเหตุของการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นของเหลือทิ้งจึงเป็นภาระที่หนักหน่วงของโรงงานต่าง ๆ ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร มักประกอบด้วยสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการแพร่กระจายได้ง่าย ดังนั้นจึงมีผลต่อคุณภาพน้ำในแง่ของ บี โอดี (BOD: Biological Oxygen Demand) และต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการบำบัดซึ่งค่าใช้จ่ายในการจัดการของเหลือทิ้งนี้ถือเป็นต้นทุนส่วนหนึ่งที่แฝงอยู่ในราคาสินค้าด้วย การกำจัดของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักแยกส่วนที่เป็นของแข็งออก แล้วนำเอาของเหลวที่เหลือไปผ่านกระบวนการบำบัดก่อนส่งออกไปยังระบบบำบัดน้ำสาธารณะ ของแข็งที่แยกออกมักนำไปถมพื้นที่ (land filling) หรือบางครั้งนำไปใช้เป็นส่วนผสมกับปุ๋ยปลูกต้นไม้

ผลพลอยได้ (by-product) คือของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารที่นำกลับไปใช้ประโยชน์ในรูปอาหารได้ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นและสร้างรายได้ให้กับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด แยมจากเนื้อและเปลือกมังคุด ดังนั้นการใช้ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารจึงให้ประโยชน์แก่ผู้ประกอบการ 2 ประการ คือ ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และสร้างรายได้จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้

10.2 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง

การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง

10.2.1 การใช้ประโยชน์โดยตรง

การใช้ประโยชน์โดยตรงหมายถึง การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ที่ปนอยู่ในของเหลือทิ้ง เพื่อเป็นอาหารในรูปแบบที่เป็นอยู่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติทางโภชนาการหรือเคมี เช่น นำไปเป็นอาหารสัตว์ การผลิตเป็นอาหาร

10.2.2 การใช้ประโยชน์โดยทางอ้อม

การใช้ประโยชน์ทางอ้อมหมายถึง การที่ของเหลือทิ้งต้องผ่านกระบวนการแปรรูปที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติทางโภชนาการหรือเคมีก่อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้หลังจากผ่านกระบวนการเหล่านี้แล้ว ผลพลอยได้มักมีลักษณะทางประสาทสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนี้มักเป็นการทำให้คุณค่าทางเศรษฐกิจของสารดั้งเดิมเพิ่มขึ้นด้วย เช่น การสกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอ

10.3 การเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากผัก

10.3.1 เปลือกถั่วลิสง

เศษเหลือใช้และผลพลอยได้จากการเกษตรเป็นสารอินทรีย์ที่อุดมไปด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับดิน โดยนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมัก อาหารสัตว์ วัสดุเพาะเห็ด รวมทั้งผลิตก๊าซชีวมวล ผัก เช่น กระเทียม ในประเทศจีนนำเศษเหลือทิ้งพวกลำต้นไปผสมดินในการเพาะปลูกเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ด้วยการใช้กับผักกวางตุ้งซึ่งผักกวางตุ้งที่ปลูกในดินใส่เศษกระเทียมมีอัตราการ

เจริญเติบโตต่ำสุด โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนใบคือ 4.30 ใบ มีความสูง 28.02 เซนติเมตร และน้ำหนักสดต่อต้น 1.04 กรัม ขณะที่ดินผสมเปลือกถั่วลิสงส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโต โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนใบและความสูงต่อต้นมากที่สุด วัดได้ 7.10 ใบ และ 44.35 เซนติเมตร ตามลำดับ (หลุทัย และคณะ, 2561)

10.3.2 เปลือกถั่วหางจระเข้

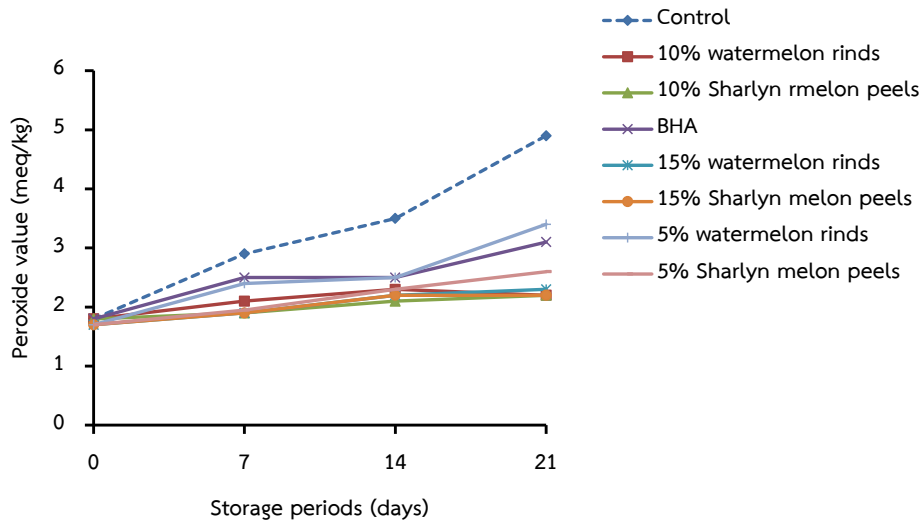
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาใช้ในการควบคุมโรคเน่าได้โดยได้นำสารสกัดหยาบจากเปลือกถั่วหางจระเข้มาควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคข้าวผลเน่าในระยะหลังการเก็บเกี่ยวบนผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เขตอำเภอปราณบุรีในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการได้ โดยทำการสกัดสารจากเปลือกถั่วหางจระเข้ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และทำการแยกเชื้อราก่อโรคในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากสวนมะม่วงเขตอำเภอปราณบุรีได้เชื้อราบริสุทธิ์ 3 ชนิด คือเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนส *Colletotrichum gloeosporioides* และเชื้อราก่อโรคข้าวผลเน่า 2 ชนิด คือ *Dothiorella dominicana* และ *Lasiodiplodia theobromae* เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบจากเปลือกถั่วหางจระเข้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ทั้ง 3 ชนิด โดยความเข้มข้นสารสกัดที่ดีที่สุดในการยับยั้งการเจริญของ *Colletotrichum gloeosporioides* คือ 6,000 ส่วนในล้านส่วน ยับยั้งได้ร้อยละ 29.83 และ *Dothiorella dominicana* คือ 6,000 ส่วนในล้านส่วน ยับยั้งได้ร้อยละ 43.00 และ *Lasiodiplodia theobromae* คือ 8,000 ส่วนในล้านส่วน ยับยั้งได้ร้อยละ 89.55 สำหรับผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกถั่วหางจระเข้ในการควบคุมการเกิดโรคแอนแทรคโนส และโรคข้าวผลเน่าบนผลมะม่วงที่ได้รับการปลูกเชื้อในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของ *Colletotrichum gloeosporioides* ได้ ร้อย ละ 41.71 – 66.87 *Dothiorella dominicana* ได้ ร้อย ละ 42.20 – 57.05 และ *Lasiodiplodia theobromae* ได้ร้อยละ 41.00 – 54.06 โดยความเข้มข้นที่ให้ผลการยับยั้งดีที่สุดคือ 6,000 10,000 และ 10,000 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากเปลือกถั่วหางจระเข้ที่มีผลต่อคุณภาพของผลมะม่วงในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีการเคลือบผิวด้วยวิธีจุ่ม (dipping method) โดยมะม่วงชุดที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ส่วนมะม่วงชุดที่ 2 เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่ามีการเข้าทำลายของโรคแอนแทรคโนสและโรคข้าวผลเน่าอยู่ในเกณฑ์ระดับคะแนน

ที่ 1 คือเกิดอาการโรคเป็นแผลเล็กขนาดเท่าหัวเข็มหมุดจำนวน 2 – 3 แผลและมองเห็นไม่ชัดเจน เมื่อใช้สารสกัดความเข้มข้น 2,000 และ 3,500 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ (ปิ่นรส และภัทรา, 2555)

10.4 การเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้

10.4.1 แดงโม

แดงโม *Citrullus lanatus* (Thunb.) จากตระกูลแตงกวา (Cucurbitacea) มีขนาดใหญ่รูปไข่กลมหรือเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แดงโมเป็นผลไม้เมืองร้อน ผิวจึงเรียบเนียนด้วยเปลือกสีเขียวเข้มหรือบางครั้งมีแถบสีเขียวอ่อนที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองสีเขียวเมื่อสุก มันเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยวิตามินและยังทำหน้าที่เป็นแหล่งที่ดีของไฟโตเคมีคอล ซิทูรีน (citrulline) ในเปลือกแดงโมให้ผลในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ซิทูรีนยังเปลี่ยนไปเป็นอาร์จินีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นต่อระบบการทำงานของหัวใจ และระบบภูมิคุ้มกัน การนำผงเปลือกแดงโมและผงเปลือกแตงแคนตาลูปไปใช้ประโยชน์ทดแทนข้าวสาลีที่ระดับร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 หรือไขมันที่ระดับร้อยละ 5.0 10 และ 15 ในการผลิตเค้ก เปลือกแดงโมมีความชื้น แลัวไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 10.61 13.09 2.44 11.17 และ 56.00 ตามลำดับ ในทางกลับกันเปลือกของแตงแคนตาลูป มีเส้นใยสูง (ร้อยละ 29.59) มากกว่าในเปลือกแดงโม (ร้อยละ 17.28) ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเปลือกแตงชนิด sharlyn คือสูงกว่าเปลือกแดงโมคือ 7.7 7.13 (กรัม น้ำต่อกรัม) และ 2.24, 1.65 (กรัม น้ำมันต่อกรัม) ตามลำดับ เปลือกแดงโมแสดงกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญ (ร้อยละ 39.7 และ 96.44) ตามลำดับ ส่วนสารประกอบฟีนอลพบมากที่สุดคือกรด 4-hydroxybenzoic (958.3 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) และวานิลลิน (851.8 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) ส่วนกรดคูมาริกมีปริมาณต่ำสุด (8.8 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) โดยพบกรด 4-hydroxybenzoic vanillin กรด chlorogenic และกรด coumaric เป็นสารประกอบฟีนอลที่พบมากในเปลือกแดงโม ผงเปลือกเหล่านี้ยังชะลอการ staling ของเค้กและยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และการสร้างกรดไขมันอิสระระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 10.1) ดังนั้นการใช้เปลือกแดงโมและเปลือกแคนตาลูปทดแทนแป้งร้อยละ 5 และ ไขมันร้อยละ 10 ในเค้กได้รับการยอมรับที่ดี (Al-Sayed และ Ahmed, 2013)



ภาพที่ 10.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเค้กที่แทนที่ไขมันด้วยผงเปลือกแตงโมและเปลือกแคนตาลูปที่ความเข้มข้นต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 21 วัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Al-Sayed และ Ahmed (2013)

10.4.2 มังคุด

มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมและมีความต้องการสูง สามารถส่งออกในตลาดต่างประเทศ เช่น จีน ญี่ปุ่น ฮองกง และสิงคโปร์ เปลือกมังคุดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีใยอาหารสูง และยังเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอล อีกทั้งสารสีแดงในเปลือกยังเป็นแหล่งของแอนโทไซยานินอีกด้วย สารประกอบฟีนอลได้รับความสนใจอย่างมากในการวิจัยทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์เพื่อสุขภาพ สารเหล่านี้มีประโยชน์ในการต้านสารก่อมะเร็ง ไขมันในเลือด การอักเสบ และจุลินทรีย์ โดยสารสกัดโพลีฟีนอลจากเปลือกมังคุดเสริมในนมผงสามารถยืดอายุการเก็บรักษานมผงได้นาน 733 วัน ด้วยสูตรที่มีส่วนผสมของนมสกัด ถั่วเหลือง เลซิติน โมลโตเด็กซ์ทรีน แลคโตส มังคุด เปลือกมังคุด และน้ำ โดยมีปริมาณร้อยละ 52 30 10 0.5 5.2 2 0.3 และ 52 ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) หลังจากการอบแห้งแบบสเปรย์คือ 281.1 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกใน 100 กรัมของนมผง และ 13.63 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ มีโปรตีนร้อยละ 13.9 ไขมันร้อยละ

20.27 ฟลาโวนอยด์ 6.1 มิลลิกรัมของเรตินอลใน 100 กรัมของนมผง ความสามารถในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชันโดยวิธี DPPH เท่ากับ 13.63 ส่วนในล้านส่วน อิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 91.29 (Nguyen, 2015) นอกจากนี้เปลือกผลไม้หลายชนิด ได้แก่ ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง มังคุดสุก ส้มเขียวหวาน กล้วยน้ำว้าดิบ และหมากสงดิบมีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย โดยการนำเปลือกเหล่านี้มาสกัดด้วยน้ำร้อน เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และอะซิโตนซึ่งสารสกัดจากเปลือกมังคุดด้วยอะซิโตนให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียทุกชนิดที่ทดสอบ (*Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* *Escherichia coli* และ *Salmonella typhimurium*) สูงที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (MIC) น้อยกว่า 195.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมา คือ สารสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยอะซิโตน มีค่า MIC ต่อ *B. subtilis* และ *S. typhimurium* เท่ากับ 373 และ 273 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีค่า MIC ต่อ *S. aureus* และ *E.coli* เท่ากัน คือ 2,984 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดจากเปลือกผลไม้ทุกชนิดที่ทดสอบด้วยอะซิโตนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำร้อนและสารสกัดด้วยเอทานอลและพบว่าความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ตรวจพบในเปลือกผลไม้ นอกจากนี้เปลือกผลไม้ทุกชนิดที่ทำการศึกษามีการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (สุคนธ์ และคณะ, 2555) เปลือกมังคุดยังเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดีในการนำมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์โดนัทเค้ก โดยใช้เปลือกมังคุดผงที่เตรียมจากเปลือกมังคุดชั้นในที่ผ่านการแช่น้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 10 นำไปอบแห้ง และบดละเอียด แปรปริมาณเปลือกมังคุดผงที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในสูตรโดนัทเค้กร้อยละ 0 3 5 และ 7 ของน้ำหนักแป้ง เมื่อใช้ปริมาณเปลือกมังคุดผงเพิ่มขึ้นโดนัทที่มีปริมาตรจำเพาะ และค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าความยืดหยุ่นลดลง และโดนัทที่มีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น โดนัทเค้กที่เติมเปลือกมังคุดผงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 3 ได้คะแนนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากโดนัทเค้กที่ไม่เติมเปลือกมังคุดผง และมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.59 19.86 และ 50.56 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับโดนัทเค้กที่ไม่เติมเปลือกมังคุดผง นอกจากนี้การเติมเปลือกมังคุดในโดนัทยังประกอบด้วยแทนนิน และแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันอีกด้วย (กุลนรี และกุลยา, 2552)

10.4.3 มะม่วง

เปลือกมะม่วงมีสารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ เช่น โพลีฟีนอล แคโรทีนอยด์ และใยอาหาร มีประโยชน์ต่อสุขภาพรวมถึงการป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง และมีผลต่อการลดระดับคอเลสเตอรอล เปลือกมะม่วงเป็นผลพลอยได้ที่สำคัญมาจากการแปรรูปมะม่วง ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ในเปลือกมะม่วง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ Chaunsa Anwar ratol Langra Dusahri และ Desi เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน และแร่ธาตุ ในเปลือกของมะม่วงพันธุ์ Anwar ratol และ Chaunsa มีปริมาณโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และเถ้าสูงกว่าพันธุ์อื่น ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ง่าย (nitrogen free extract, NFE) ในพันธุ์ Chaunsa Anwar ratol Langra Dusahri และ Desi มีปริมาณเท่ากับ 87.84 87.60 88.86 89.09 และ 89.58 ตามลำดับ (ตารางที่ 10.1)

ตารางที่ 10.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกมะม่วงพันธุ์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	พันธุ์มะม่วง				
	Chaunsa	Anwar ratol	Langra	Dusahri	Desi
ความชื้น (ร้อยละ)	70.74±4.01	71.01±3.91	69.86±5.20	68.33±4.14	71.38±2.05
โปรตีน (ร้อยละ)	2.25±0.05 ^a	2.36±0.01 ^a	2.20±0.04 ^{ab}	2.06±0.05 ^b	1.94±0.04 ^c
ไขมัน (ร้อยละ)	2.31±0.14	2.26±0.10	2.25±0.17	2.18±0.18	2.11±0.12
ใยอาหาร (ร้อยละ)	5.01±0.25 ^a	5.47±0.31 ^a	4.88±0.12 ^{ab}	4.69±0.17 ^b	4.53±0.18 ^c
เถ้า (ร้อยละ)	2.59±0.03 ^a	2.31±0.02 ^{ab}	2.21±0.19 ^b	1.98±0.12 ^c	1.84±0.02 ^d
คาร์โบไฮเดรตที่ง่าย	87.84±6.87	87.60±3.41	88.86±5.20	89.09±3.85	89.58±2.89

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ที่มา: Imran และคณะ (2013)

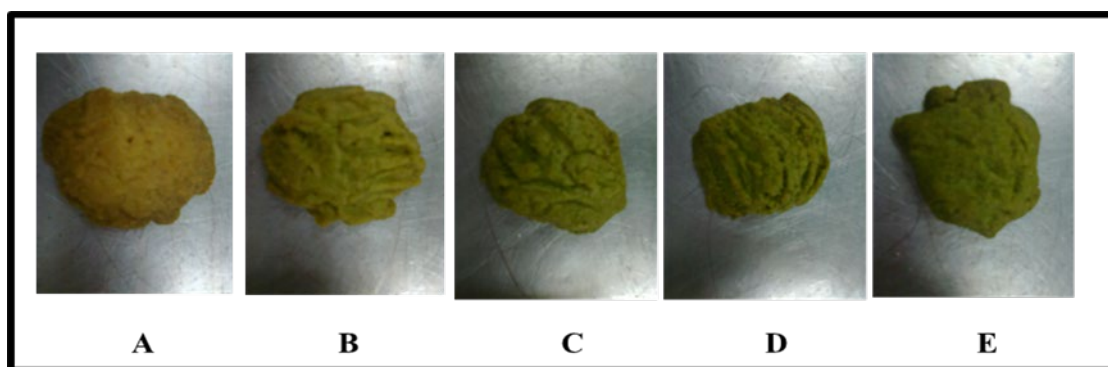
ผงเปลือกมะม่วงยังเป็นแหล่งของแร่ธาตุและสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีซึ่งนำไปต่อยอดในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เช่น การนำเปลือกมะม่วงผสมกับบิสกิตเพื่อให้มีคุณสมบัติทางด้านโภชนาการซึ่งเปลือกมะม่วงมีเส้นใยอาหารร้อยละ 51.2 และสารประกอบฟีนอล 96 มิลลิกรัมของกรดแกลลิก และปริมาณแคโรทีนอยด์ 3092 มิลลิกรัมต่อกรัม ลักษณะโครงสร้างของแป้งสาลีที่ผสมกับผงเปลือกมะม่วงมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 60 เป็น 68 เมื่อนำผงเปลือกมะม่วงที่ระดับแตกต่างกัน (ร้อยละ 5.0 7.5 10.0 15.0 และ 20.0) มาผสมในบิสกิตปริมาณใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.5 เป็น 20.7 โดยมีสัดส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูง ผงเปลือกมะม่วง ร้อยละ 20 ที่ผสมในบิสกิตมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นจาก 0.54 เป็น 4.50 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ยังเพิ่มขึ้นจาก 17 เป็น 247 มิลลิกรัมต่อกรัมด้วยเช่นกัน ส่วนบิสกิตที่มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงมีสารต้านอนุมูลอิสระโดยบิสกิตที่ได้รับการยอมรับเป็นบิสกิตที่มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 10 ดังนั้นบิสกิตที่มีส่วนผสมของแป้งสาลีผสมกับผงเปลือกมะม่วงจึงมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี (Ajila และคณะ, 2008) นอกจากนี้การเสริมผงเปลือกมะม่วงในคุกกี้ในปริมาณร้อยละ 40 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าคุกกี้ที่มีปริมาณผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 0 10 20 และ 30 และเมื่อนำคุกกี้มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นใน 3 สัปดาห์แรก จากนั้นลดลงเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 คุกกี้ที่มีปริมาณผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 20 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงโดยไม่มีความแตกต่างจากคุกกี้ที่มีปริมาณผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 10 30 และ 40 อย่างไรก็ตามคุกกี้ที่มีปริมาณผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 0 มีคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีรสชาติของเปลือกมะม่วงที่ขม และลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งมากที่สุด ดังตารางที่ 10.2 และภาพที่ 10.2

ตารางที่ 10.2 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของคุกกี้เสริมผงเปลือกมะม่วงที่ร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 นาน 4 สัปดาห์

ผงเปลือกมะม่วง (ร้อยละ)	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละของการยับยั้ง)				
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
0	75.22 ^c	89.28 ^b	78.25 ^b	87.77 ^c	93.41
10	86.68 ^b	89.44 ^b	77.50 ^b	89.20 ^{bc}	94.21
20	88.54 ^a	91.20 ^{ab}	78.95 ^b	91.10 ^{ab}	94.04
30	89.23 ^a	92.96 ^a	81.12 ^a	91.64 ^{ab}	94.05
40	89.79 ^a	93.39 ^a	81.68 ^a	92.58 ^a	94.63

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ที่มา: อินทิรา และคณะ (2556)



ภาพที่ 10.2 ลักษณะผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมผงเปลือกมะม่วง ร้อยละ 0 (A) ร้อยละ 10 (B) ร้อยละ 20 (C) ร้อยละ 30 (D) และร้อยละ 40 (E) นานสัปดาห์ที่ 0

ที่มา: อินทิรา และคณะ (2556)

ผงเปลือกมะม่วงนอกจากเสริมในคุกกี้แล้วยังสามารถนำมาเสริมในเค้กได้ด้วยซึ่งการเสริมผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 7 มีค่าความสว่าง (L^*) น้อยที่สุด คือ 59.29 ดังภาพที่ 10.3 ซึ่งมีสีเขียวของผงเปลือกมะม่วง การเพิ่มผงเปลือกมะม่วงจึงส่งผลให้ค่าความสว่างลดลงตามปริมาณผงเปลือกมะม่วงที่เพิ่มขึ้น เค้กเสริมผงเปลือกมะม่วงร้อยละ 7 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด การเพิ่มปริมาณผงเปลือกมะม่วงในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 10.3



ภาพที่ 10.3 ลักษณะผลิตภัณฑ์เค้กเสริมผงเปลือกมะม่วง ร้อยละ 0 (A) ร้อยละ 5 (B) ร้อยละ 10 (C) และร้อยละ 15 (D) นานสัปดาห์ที่ 0

ที่มา: อินทิรา และคณะ (2561)

ตารางที่ 10.3 ค่าความสว่าง (L^*) สารประกอบฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระของเค้กเสริมผงเปลือกมะม่วงที่ร้อยละ 0 1 4 และ 7

ผงเปลือกมะม่วง (ร้อยละ)	คุณภาพทางกายภาพและเคมี		
	L^*	สารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม)	สารต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิก ต่อกรัม)
0	78.47 ^d	0.31 ^a	6.22 ^a
1	67.87 ^c	0.50 ^a	72.83 ^b
4	63.62 ^b	1.87 ^b	92.12 ^c
7	59.29 ^a	3.41 ^c	103.71 ^d

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ที่มา: อินทิรา และคณะ (2561)

10.4.4 แก้วมังกร

เปลือกแก้วมังกรมีสารประกอบฟีนอลในกลุ่มแอนโทไซยานินที่สำคัญ 3 ชนิด ชนิดแรกคือ pelargonidin 3,5 O-glucoside ชนิดที่สองคือ cyanidin 3-O-glucoside และชนิดที่สามคือ cyanidin 3,5 O-glucoside และยังพบส่วนของเปลือกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในเนื้อผล (Nurliyana และคณะ, 2010, Vargas และคณะ, 2013) นอกจากนี้เปลือกแก้วมังกรยังเป็นแหล่งของเบต้าไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงกลุ่มของสาร Betalains (กรรณิการ์ และปราณี, 2552; Herbach และคณะ, 2006) การสกัดสีแดงจากเปลือกแก้วมังกรแล้วนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณบีตาไซยานินเท่ากับ 6.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณบีตาแซนทิน เท่ากับ 5.89 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำไปผงเปลือกแก้วมังกรไปประยุกต์ใช้ในน้ำสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้ผงสีแดงจากเปลือกแก้วมังกรในน้ำสตรอเบอร์รี่ร้อยละ 25 ได้เทียบเท่ากับการเติมสีสังเคราะห์สีแดง (Ponceau 4 R) ที่มีขายทางการค้า (ยุวพร, 2552) เปลือกแก้วมังกรนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์กัมมีด้วยการนำเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อขาวต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 นาที จากนั้นใช้น้ำเปลือกแก้วมังกรที่ร้อยละ 0 50 และ 100 มาผลิตเป็นกัมมีโดยค่าความเป็นกรด ปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของกัมมีทุกความเข้มข้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเติมปริมาณน้ำเปลือกแก้วมังกร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กัมมีที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 มีปริมาณมากที่สุด โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากชุดควบคุมดังนั้นผลิตภัณฑ์กัมมีจากเปลือกแก้วมังกรจึงมีจุดเด่นด้านสีที่มาจากธรรมชาติ และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (อินทิรา และคณะ, 2560)

ตารางที่ 10.4 คุณภาพทางเคมีของกัมมี่จากน้ำเปลือกแก้วมังกรที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 50 และ 100

น้ำเปลือกแก้วมังกร (ร้อยละ)	กรด-ด่าง* (ร้อยละ)	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)*	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°บริกซ์)*	ปริมาณสารฟีนอลลิครวม (มิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิก)*	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละการยับยั้ง)*
0	3.01 ^b ±0.50	0.22 ^a ±0.05	53.33 ^b ±1.53	3.97 ^c +0.01	0.95 ^c +0.42
50	3.30 ^{ab} ±0.36	0.17 ^b ±0.05	54.33 ^{ab} ±1.15	86.25 ^b ±0.94	34.64 ^b ±0.99
100	3.96 ^a ±0.25	0.15 ^c ±0.1	56.67 ^a ±1.53	131.95 ^a ±0.99	49.89 ^a ±0.85

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ที่มา: อินทิรา และคณะ (2560)

10.5 บทสรุป

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นวัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของเกษตรกร รวมทั้งเป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม โดยการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง เช่น การนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมัก และอาหารสัตว์ การสกัดสารจากเปลือกว่านหางจระเข้เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของโรคแอนแทรกโมนิส และโรค썴ผลเน่าในมะม่วงได้ การใช้เปลือกแตงโมผสมในเค้กเพื่อชะลอการเกิด staling และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เปลือกมังคุดเป็นแหล่งของแทนนินและแอนโทไซยานินสามารถเสริมลงในโดนัทเค้ก และเปลือกมะม่วงซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เสริมในคุกกี้และเค้กช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่ผู้บริโภคได้

แบบฝึกหัด

1. ผลพลอยได้ (by-product) หมายถึงอะไร
2. การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทางได้แก่อะไร
3. จงยกตัวอย่างของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและจงอธิบายวิธีการสร้างเป็นผลิตภัณฑ์จากของเหลือทิ้งนั้น
4. ให้ออกแบบผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือทิ้งจากเปลือกมะม่วงมา 1 ผลิตภัณฑ์
5. อธิบายประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อการป้องกันจุลินทรีย์ในอาหาร

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ สอนโยธา, และปราณี อ่านเปรื่อง. (2552). สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความคงตัวของ เบต้าไซยานินจากเปลือก และเนื้อ แก้วมังกรพันธุ์เนื้อแดง, *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40(1): 15–18.
- กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์, และกุลยา ลีมรุ่งเรืองรัตน์. 2552. การใช้เปลือกมังคุดเป็นแหล่งใยอาหารใน โดนัทเค้ก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40(3)(พิเศษ), 97–100.
- ปณรสี สู่ศิริรัตน์, และภัทรา พลับเจริญสุข. (2555). การใช้สารสกัดหยาบจากเปลือกกว่านทางจระเข้ เพื่อควบคุมโรคแอนแทรกคโนส และโรคขั้วผลเน่า ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เขตอำเภอบางบัว จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจ บัณฑิต.
- ยุวพร มูลคำ. (2552). การสกัดสารสีแดงจากเปลือกแก้วมังกร และการประยุกต์ใช้ในน้ำสตรอเบอร์รี่ ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. <http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/6653943832/20413>
- สุนทร ตันติไพบูลย์วุฒิ, เทียนชัย น่วมเศรษฐี, และเพชรลดา เตชายืนยง. (2555). ฤทธิ์ยับยั้ง แบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกผลไม้บางชนิด. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 17(6), 880–894.
- หฤทัย ไทยสุชาติ, พรอนันต์ บุญก่อน, ปิยะรัตน์ ทองธานี, และศรายุทธ มาลัย. (2561). ผลการใช้ เศษเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง. *แก่นเกษตร(ฉบับพิเศษ)*, 46, 1301–1306.
- อินทรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, และอัญชลินทร์ สิงห์คำ. (2561). ผล ของผงเปลือกมะม่วงต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของเค้ก. *วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร*, 49(2)(พิเศษ), 585–588.
- อินทรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, และอัญชลินทร์ สิงห์คำ. (2560). การ พัฒนาขนมเค้กจากเปลือกแก้วมังกร. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 5 (หน้า 403–408). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม.

- อินทิรา ลิจันทรพร, อาภรณ์ สาระจันทร์, ภูมิรินทร์ ชันสัมฤทธิ์, และผกาพรรณ วงศ์นิกร. (2556). ผลของการเสริมผงเปลือกมะม่วงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในคุกกี้. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 44(2)(พิเศษ), 405–408.
- Ajila, C.M., Leelavathi, K., & Prasada Rao, U.J.S. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48, 319–326.
- Al-Sayed, H., & Ahmed, A.R. (2013). Utilization of watermelon rinds and sharlyn melon peels as a natural source of dietary fiber and antioxidants in cake. *Annals of Agricultural Science*, 58(1), 83–95.
- Herbach, K.M., Stintzing, F.C., & Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation-structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, 71, R41–R50.
- Imran, M., Butt, M.S., Anjum, F.M., & Sultan, J.I. (2013). Chemical profiling of different mango peel varieties. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(10), 934–942.
- Nguyen, P.M. (2015). Application of polyphenol extract from mangosteen pericarp for milk powder preservation. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 3(2), 297–304.
- Nurliyana, R., Syed Zahir, I., Mustapha Suleiman, K., Aisyah, M.R., & Kamarul Rahim, K. (2010). Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits: a comparative study. *International Food Research Journal*, 17, 367–375.
- Vargas, M., Cortez, J., Duch, E., Lizama, A., & Méndez, C. (2013). Extraction and stability of anthocyanins present in the skin of the dragon fruit (*Hylocereus undatus*). *Food and Nutrition Sciences*, 4, 1221–1228

บรรณานุกรม

- จริงแท้ ศิริพาณิชย์. (2549). *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช*. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- दनัย บุญยเกียรติ. (2556). *สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชสวน*. โอเดียนสโตร์.
- นิจศิริ เรืองรังสี, และพะยอม ตันติวิวัฒน์. (2534). *พืชสมุนไพร*. โอ เอสพรีนติ้ง เฮ้าส์
- ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน. (2556). *เทคโนโลยีผักและผลไม้*. โอเดียนสโตร์.
- วิลาวัลย์ คำปวน. (2563). สารเคลือบผิวสำหรับผลไม้สด.วันที่ค้นข้อมูล 1 มิถุนายน 2563, เข้าถึงได้จาก https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=38.
- วิไล รัสาดทอง. (2559). *เทคโนโลยีการแปรรูปผักและผลไม้* (พิมพ์ครั้งที่ 2). ยูโอเพ่น.
- สิติมา จิตตินันทน์. (2540). *การดองผักกาดเขียวปลีโดยวิธีควบคุม และใช้เชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์กลุ่มแลคติกแอซิก* (รายงานผลการวิจัย). นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุพัตรา พูลพิชชนม์. 2551. *เทคโนโลยีผักและผลไม้* [เอกสารที่ไม่มีการตีพิมพ์]. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.
- Abdelkhalik, A.G.A. (2009). *Effects of salinity of irrigation water on growth, fruit yield and fruit quality of two tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivars grown in hydroponic system* [Master thesis, Univerisidad Politecnica De Valencia]. <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/1/59/pdf>
- Arafat, L.A. (2005). *Chilling injury in mangoes*. [Doctoral dissertation, Wageningen University]. <http://edepot.wur.nl/121710>
- Ashrae, (1994). *Handbook of refrigeration*. SI version. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Crozier, A., Jaganath, I.B., & Clifford, M.N. (2006). Polyphenols and tannins: An overview. In A. Crozier, M.N. Clifford, and H. Ashihara (Eds.), *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet* (Ed., pp. 1–24). Blackwell.

- Lado, J., Cronje, P.J.R., Rodrigo, M.J., & Zacarias, L. (2019). Citrus, In S.T.D.F.S. Perrk (ed.). *Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables* (pp. 324–325). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22001>.
- Lund, B.W., Baird-Parker, A.C., & Gould, G.W. (2000). *The microbiological safety and quality of food*. Aspen Publications.
- Molnar, C., & Gair, J. (2015). *Concepts of Biology – 1st Canadian Edition*. BC campus. Retrieved from <https://opentextbc.ca/biology/>
- Pareek S, Sagar N.A, Sharma, S., Kumar, V., Agarwal, T., González-Aguilar, G.A., & Yahia, E.M. (2017). Chlorophylls: chemistry and biological functions. In E.M. Yahia, (Ed.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health* (2nd ed., pp. 269–284). John Wiley & Sons Ltd.
- Radovich, T.J.K. (2011). Biology and Classification of Vegetables. In Sinha, N.K., Hui, Y.H., Evranuz, E.O., Siddiq, M., Ahmed, J. (Eds.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 1–23). Blackwell.
- Saltveit, M.E. (2004). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Agriculture Handbook 66. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/respiratoryMetab.pdf>.
- Saravacos, G.D., & Kostaropoulos, A.E. (2002). *Handbook of Food Processing Equipment*. <http://blog.ub.ac.id/nizarkvn/files/2016/09/Handbook-of-Food-Processing-Equipment.pdf>
- Smith, J., & Hui, Y. (2004). *Food processing: principles and applications*. Blackwell.
- Wood, B.J.B. (1997). *Microbiology of fermented foods*. Blackie Academic and Professional.
- Wood, B.J.B., & Holzapel, W.H. (1995). *The genera of lactic acid bacteria*. Blackie Academic and Professional.

ดัชนี

ก

กรดซิตริก.....	188
กรดอะมิโนจำเป็น.....	14
กรดอินทรีย์.....	16
กะหล่ำปลีดอกเปรี้ยว.....	166
การคายน้ำ.....	36
การเคลือบผิว.....	87
การแช่แข็งแบบช้า.....	98
การแช่แข็งแบบเร็ว.....	99
การดองเค็ม.....	162
การดองปรุงรส.....	163
การดองเปรี้ยว.....	162
การตกตะกอนไวน์.....	174
การตัดแต่ง.....	86
การติดฉลาก.....	130
การทำให้ผิวนอกแห้ง.....	85
การบ่มไวน์.....	174
การบรรจุในสภาพสุญญากาศ.....	193
การปรับสภาพผิวภายนอก.....	85
การปกปิดเปลือกด้วยต่าง.....	68
การปกปิดเปลือกด้วยน้ำร้อน.....	71
การปกปิดเปลือกด้วยไอน้ำ.....	70
การปิดผนึก.....	127
การผลิตเอทิลีน.....	32
การเร่งสลายสีเขียว.....	88
การลวก.....	72
การไล่อากาศ.....	126

การหมักไวน์.....	173
------------------	-----

ค

คลอรีนอิสระ.....	66
คลอโรฟิลล์.....	17
คลอลีนดีมานด์.....	66
คาร์โบไฮเดรต.....	12
คิวติน.....	36
เครื่องฆ่าเชื้อแบบหมุน.....	129
เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	190
เครื่องอบแห้งแบบตู้หรือถาด.....	189
เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	192
เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ.....	193
เครื่องอบแห้งแบบสายพานต่อเนื่อง.....	190
แคโรทีนอยด์.....	18, 41
แคลเซียมคลอไรด์.....	188

จ

เจลาคติน.....	174
---------------	-----

ช

แช่เย็นแบบช้า.....	211
แช่เย็นแบบเร็ว.....	210

ซ

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	199
โซลานีน.....	50

ด

แดงโม 242

ท

แทนนิน 42

น

น้ำผักและผลไม้เข้มข้นชนิดหวาน 144

น้ำส้มสายชู 177

เนื้อเยื่อลำเจียก 8

เนื้อเยื่อป้องกัน 6

เนื้อเยื่อพาเรงคิมา 7

เนื้อเยื่อลำเลียง 10

ป

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด 106

ปากใบ 36

โปรตีนและเอนไซม์ 14

ผ

ผลพลอยได้ 240

ผลไม้ชนิดผลกลุ่ม 4

ผลไม้ชนิดผลเดี่ยว 3

ผลไม้ชนิดผลรวม 4

ผักและผลไม้กวน 221

พ

เพอร์ออกซิเดส 200

ฟ

ฟลาโวนอยด์ 20

ม

มะม่วง 245, 246

มะม่วงกวน 223

มังคุด 243, 244

ย

เยลลี่ 215

แย้ม 212

ร

รงควัตถุ 17

แร่ธาตุ 22

ล

ลิปิด 15

เลนติเซล 36

ว

วิตามิน 23

ไวน์ 168

ส

สัดส่วนการคืนรูป 201

สับปะรดกวน 222

สัมประสิทธิ์ของการคืนรูป 201

สารประกอบฟีนอล 21

สารพิษ 24

สารให้กลิ่นรส 23

อ

อัตราการคืนตัว 202

อาการเนื้อฉ่ำน้ำ.....	47	เอ็กโพลชัน พัพฟิง	196
อาการสะท้อนหนาว.....	38	แอนโทไซยานิน	41
อิมัลชัน	87		