

บทที่ 2

วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะม่วง

มะม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Mangifera indica* Linn. เป็นไม้ผลเขตร้อนที่เก่าแก่และสำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง มีการปลูกทั่วไปแถบประเทศในเขตร้อน เช่น อินเดีย มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย จีน บังคลาเทศ ปากีสถาน เม็กซิโก สหรัฐอเมริกา และบราซิล (Mukherjee, 1997)

พันธุ์มะม่วงที่ปลูกอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามลักษณะถิ่นกำเนิด และการกระจายสายพันธุ์ได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. มะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian type)
2. มะม่วงกลุ่มอินโดจีน (Indochina type)
3. มะม่วงกลุ่มลูกผสม

นอกจากนี้มะม่วงยังสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของผลได้อีก 3 ประเภท คือ

1. **มะม่วงบริโภคผลดิบหรือมะม่วงมัน** มะม่วงกลุ่มนี้จะมีรสหวานเมื่อตอนแก่จัด ถึงแม้จะยังไม่สุก เช่น เขียวสววย พิมเสนมัน และ แรด อีกกลุ่มหนึ่งมีรสมันไม่เปรี้ยวถึงแม้ผลยังเล็ก เช่น สายฝน ฟาลัน และ หนองแขง เป็นต้น โดยทั่วไปมะม่วงที่บริโภคผลดิบทุกชนิดจะเก็บรักษาไว้ในลักษณะมะม่วงแก่ได้ไม่กี่วัน ก็จะเริ่มสุก ซึ่งโดยมากจะมีรสจืดชืด ไม่อร่อยเหมือนขณะยังดิบอยู่ ดังนั้นจึงไม่นิยมที่จะส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศหรือส่งไปจำหน่ายยังจังหวัดที่อยู่ห่างไกล (ภูวนาท, 2540)
2. **มะม่วงบริโภคผลสุก** มะม่วงกลุ่มนี้เมื่อผลดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก ดังนั้นจึงนิยมเก็บเกี่ยวออกจากต้นเมื่อผลแก่เต็มที่ แล้วบ่มให้สุกจึงนำมาบริโภค เมื่อผลสุกแล้วจะมีรสหวานและมีกลิ่นหอม พันธุ์มะม่วงที่บริโภคผลสุก ได้แก่ อกร่องทอง พิมเสน หนังกกลางวัน ลิ้นงูเห่า และน้ำดอกไม้ เป็นต้น (ภูวนาท, 2540)
3. **มะม่วงใช้แปรรูป** เป็นมะม่วงที่มีผลดก ผลขนาดเล็กถึงปานกลาง เมื่อผลแก่จัดจะมีรสมันอมเปรี้ยว เมื่อผลสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยวหรือจืดชืด ผลดิบใช้ทำมะม่วงตากแห้งหรือมะม่วงดอง ผลสุกใช้เนื้อแปรรูปเป็นมะม่วงกวน และมะม่วงแผ่น สำหรับพันธุ์มะม่วงที่ใช้แปรรูปอย่างแพร่หลายปัจจุบันนี้

ได้แก่ มะม่วงแก้ว มะม่วงพืมนเสนเปรี้ยว และมะม่วงพันธุ์อื่นๆ ที่ไม่นิยมบริโภคผลสุก ส่วนมะม่วงสามปี นิยมใช้ผลสุกทำแยมและทำน้ำมะม่วงบรรจุกระป๋อง ซึ่งมีคุณภาพดีมาก เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ (ภูวนาท, 2540)

มะม่วงเขียวเสวย

เป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมสูงในปัจจุบัน ผลใช้รับประทานดิบคุณภาพดีมาก รสชาติหวานตรงกับความต้องการของคนไทย การเจริญเติบโตและการแตกกิ่งค่อนข้างช้า ผลมีลักษณะค่อนข้างกลมรียาววงอเล็กน้อย โดยมีส่วนหัวใหญ่หนาและเรียวลงสู่ส่วนปลาย ลักษณะของผลสีเขียวเข้ม เนื้อภายในมีสีขาวละเอียดกรอบ มีเนื้อมาก เสี้ยนค่อนข้างน้อย น้ำหนักของผลประมาณ 350 กรัม เมื่ออ่อนจะมีรสเปรี้ยว เปลือกหนาและเหนียว ผลไม่แตกง่าย มีต่อมไม่ชัด แก่จัดจะมีรสหวานมัน เมื่อสุกเปลือกจะมีสีเขียวปนเหลือง ลักษณะของเนื้อภายในเหลือง รสหวานซัด อายุตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ประมาณ 105 วัน เป็นมะม่วงที่ไม่ทนทานต่อสภาพการถูกน้ำท่วมขัง หากถูกน้ำท่วมขังเพียง 3 วันเท่านั้นต้นก็จะเหี่ยวเฉา ข้อยเสียคือจะมียางไหลตามกิ่งและลำต้น แต่มีความต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี

คุณค่าทางโภชนาการของผลมะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม และโพแทสเซียม คุณค่าทางโภชนาการของผลมะม่วง แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะม่วงส่วนที่บริโภคได้ (ต่อปริมาณ 100 กรัม)

Nutrient Value	per 100 grams	Units
Proximate		
Water	81.71	g
Energy	65	kcal
Energy	272	kJ
Protein	0.51	g
Total lipid (fat)	0.27	g
Ash	0.50	g
Carbohydrate, by difference	17.0	g
Fiber, total	1.8	g
Sugars, total	14.8	g
Minerals		
Calcium, Ca	10	mg
Iron, Fe	0.13	mg
Magnesium, Mg	9	mg
Phosphorus, P	11	mg
Potassium, K	156	mg
Sodium, Na	2	mg
Zinc, Zn	0.04	mg
Copper, Cu	0.11	mg
Manganese, Mn	0.027	mg
Selenium, Se	0.6	mcg

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะม่วงส่วนที่บริโภคได้ (ต่อปริมาณ 100 กรัม)

Nutrient Value	per 100 grams	Units
Vitamin		
Vitamin C, total ascorbic acid	27.7	mg
Thiamin	0.058	mg
Riboflavin	0.057	mg
Niacin	0.584	mg
Pantothenic acid	0.160	mg
Vitamin B-6	0.134	mcg
Folate, total	14	mcg
Folic acid	0	mcg
Folate, food	14	mcg_DFE
Folate, DFE	14	mg
Chlorine, total	7.6	mcg
Vitamin B-12	0	mcg
Vitamin B-12, added	0	mcg_RAE
Vitamin A, RAE	38	mcg
Retinol	0	mcg
Carotene, beta	445	mcg
Carotene, alpha	17	mcg
Cryptoxanthin, beta	11	IU
Vitamin A, IU	765	mcg
Lycopene	0	mcg
Lutein + zeaxanthin	0	mg
Vitamin E (alpha-tocopherol)	1.12	mg
Vitamin E, added	0	mcg
Vitamin K (phylloquinone)	4.2	mcg

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะม่วงส่วนที่บริโภคได้ (ต่อปริมาณ 100 กรัม)

Nutrient Value	per 100 grams	Units
Lipid		
Fatty acid, total saturated	0.066	g
4:0	0	g
6:0	0	g
8:0	0	g g
10:0	0	g
12:0	0.001	g
14:0	0.009	g
16:0	0.052	g
18:0	0.003	g
Fatty acid, total monosaturated	0.101	g
16:1 undifferentiated	0.048	g
18:1 undifferentiated	0.054	g
20:1	0	g
22:1 undifferentiated	0	g
Fatty acid, total polyunsaturated	0.051	g
18:2 undifferentiated	0.014	g
18:3 undifferentiated	0.037	g
18:4	0	g
20:4 undifferentiated	0	g
20:5 n-3	0	g
22:5 n-3	0	g
22:6 n-3	0	mg

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะม่วงส่วนที่บริโภคได้ (ต่อปริมาณ 100 กรัม)

Nutrient Value	per 100 grams	Units
Cholesterol	0	
Amino acids		
Tryptophan	0.008	g
Threonine	0.019	g
Isoleucine	0.018	g
Leucine	0.031	g
Lysine	0.041	g
Methionine	0.005	g
Phenylalanine	0.017	g
Tyrosine	0.010	g
Valine	0.026	g
Arginine	0.019	g
Histidine	0.012	g
Alanine	0.051	g
Aspartic acid	0.042	g
Glutamic acid	0.060	g
Glycine	0.021	g
Proline	0.018	g
Serine	0.022	g
Other		
Alcohol, ethyl	0	g
Caffeine	0	mg
Theobromine	0	mg

ที่มา: USDA Agricultural Research Service, 2008

ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

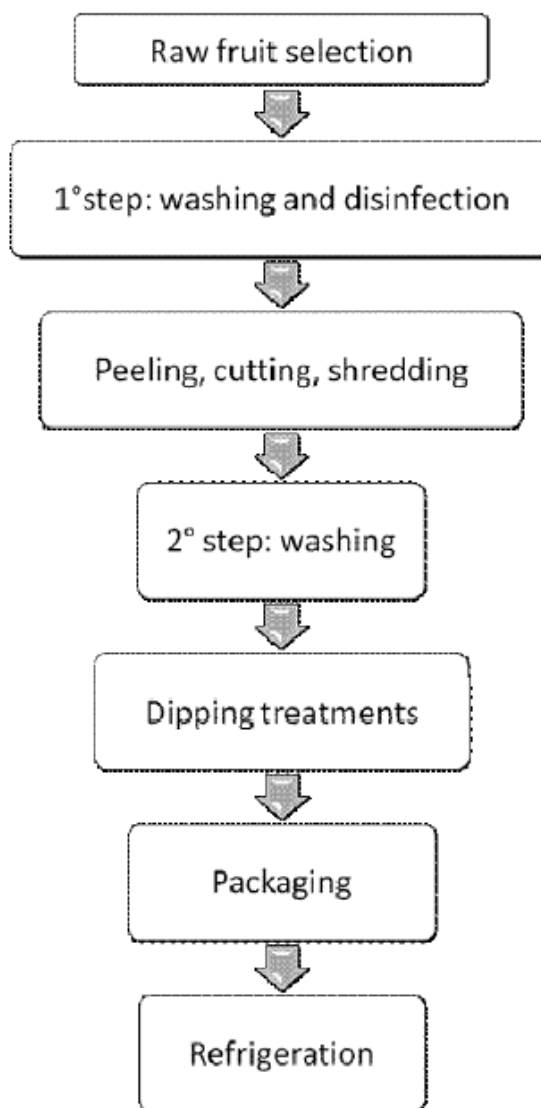
ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีขั้นตอนการปฏิบัติการอย่างหนึ่งอย่างใดหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การล้างทำความสะอาด การปอกเปลือก การเอาไส้หรือเมล็ดออก การหั่นชิ้นหรือการซอยเป็นชิ้นเล็กๆ การบรรจุ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยที่ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคนั้นยังมีชีวิตอยู่ (จริงแท้, 2544) ปัจจุบันผลไม้สดพร้อมบริโภคมีปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะผลไม้ที่มีผลขนาดใหญ่และปอกเปลือกยาก เช่น ทูเรียน ขนุน สับปะรด แตงโม และแคนตาลูป เนื่องจากผู้บริโภคต้องการความสะดวกสบาย รวดเร็ว ง่ายต่อการบริโภค และประหยัดเวลา (Rattanapanone *et al.*, 2000)

จริงแท้ (2544) ได้สรุปข้อควรพิจารณาในการเลือกวัตถุดิบสำหรับแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคควรมีลักษณะดังนี้

1. ผลขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สะดวกในการซื้อบริโภค
2. ราคา ถ้าราคาผลไม้สูงและมีผลขนาดใหญ่ การแปรรูปเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภคจะดึงดูดความสนใจให้ผู้บริโภคซื้อได้ง่าย
3. ผลไม้หลายชนิดมีปัญหาในเรื่องคุณภาพภายในซึ่งตรวจสอบไม่ได้จากภายนอก การแปรรูปพร้อมบริโภคจะช่วยให้ตรวจสอบคุณภาพได้ดีขึ้น
4. ความยากในการปอกผลไม้บางชนิด เช่น ขนุน และทูเรียน ซึ่งปอกได้ยากและอาจมีอันตราย ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมเสียเวลาหรือเสี่ยงในการปอกเอง
5. ส่วนเปลือกหรือส่วนที่บริโภคไม่ได้มีปริมาณมาก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งและมีราคาแพงขึ้นโดยไม่จำเป็น
6. ผลไม้หลายชนิดมีปัญหาเรื่องการเข้าทำลายโดยแมลงวันผลไม้ ทำให้ส่งไปขายในต่างประเทศบางประเทศไม่ได้ ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ เสียเวลา และค่าใช้จ่ายการแปรรูปเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภคอาจช่วยแก้ปัญหานี้ได้

ขั้นตอนการผลิตผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

กระบวนการแปรรูปผักผลไม้สดพร้อมบริโภคแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการแปรรูปผักที่เป็นผักใบ และผลไม้ที่เป็นผลหรือพืชหัว (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

(ที่มา: ดัดแปลงจาก Varoquaux and Wiley, 1994)

การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านขั้นตอนการแปรรูปต่างๆ เช่น การปอกเปลือก การตัด หรือหั่นเป็นชิ้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ทำให้เซลล์ของผลผลิตถูกทำลาย ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา ดังนี้

1. อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

การผลิตผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคเป็นกระบวนการที่ทำให้ผักและผลไม้เกิดบาดแผลซึ่งเป็นสาเหตุให้ผักและผลไม้มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น (Beaulieu and Lea, 2003) อัตราการหายใจของผักและผลไม้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าผักและผลไม้เหล่านั้นจะมีอายุการเก็บรักษาได้นานเพียงใด ผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงจะเน่าเสียเร็วและมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำ (Rico *et al.*, 2007)

การศึกษาอัตราการหายใจของแคนตาลูปที่หั่นด้วยมีดที่คมและที่อ พบว่าความคมของมีดที่ใช้หั่นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการหายใจ เพราะส่งผลกระทบต่อการทำลายเซลล์บริเวณรอยตัดตัวอย่างเช่น แคนตาลูปที่หั่นด้วยมีดที่มีอัตราการหายใจสูงกว่าแคนตาลูปที่หั่นด้วยมีดคมประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (Portela and Cantwell, 2001) ผลกีวี่ที่ปอกเปลือกและหั่นขึ้นมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนสูงกว่าผลกีวี่ที่ไม่ปอกเปลือก 2-4 เท่า (Agar *et al.*, 1999) นอกจากนี้ Kim *et al.* (2004) ได้ศึกษาอัตราการหายใจของกะหล่ำปลีสีขาวและสีม่วงทั้งหัวและหั่นขึ้น พบว่ากะหล่ำปลีหั่นขึ้นมีอัตราการหายใจสูงกว่าโดยเมื่อเก็บรักษากะหล่ำปลีสีขาวทั้งหัวและหั่นขึ้นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีอัตราการหายใจซึ่งวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกมาเท่ากับ 0.8-1.1 mmol kg⁻¹ per hour และ 0.9-1.5 mmol kg⁻¹ per hour ตามลำดับ ส่วนกะหล่ำปลีสีม่วงทั้งหัวและหั่นขึ้นมีอัตราการหายใจ 0.6-0.8 mmol kg⁻¹ per hour และ 1.1-1.4 mmol kg⁻¹ per hour ตามลำดับ

2. การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ

สาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค คือการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) เมื่อเซลล์ถูกทำลายในระหว่างกระบวนการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภค จะทำให้เอนไซม์ภายในเซลล์ออกมาเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับสารตั้งต้นได้อย่างอิสระ เอนไซม์สำคัญที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค คือเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารฟีนอล (phenolic compound) กับก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลขึ้นบริเวณรอยแผลของผักและผลไม้สด ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Toivonen and Brummell, 2008)

ผลิตผลบางชนิดเมื่อมีการหั่นขึ้นและเกิดบาดแผล บริเวณรอบๆ บาดแผลจะเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2544) เช่น ผลมังคุดที่ปอกเปลือกเมื่อจุ่มด้วยสารต้านการเกิดสีน้ำตาล แล้วเก็บรักษาไว้ในถุงเป็นเวลา 10 วัน

พบว่าเนื้อมังคุดมีสีคล้ำ มีค่า L^* ลดลงจาก 73 เป็น 60 (Manurakchinakorn *et al.*, 2005) สับปะรดหั่นชิ้นที่จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์มีค่า L^* ลดลงจาก 69 เหลือประมาณ 61 (Antoniolli *et al.*, 2005) ส่วนลูกพลับหั่นชิ้นมีค่า L^* ลดลงจาก 69 เหลือเพียงประมาณ 55 ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน (Perez-Gago *et al.*, 2005) นอกจากนี้ผักบางชนิด เช่น fennel เมื่อหั่นแล้วบรรจุในถุง เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่า L^* ลดลงจาก 65 เหลือเพียง 54 (Spagna *et al.*, 2005)

3. การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคเกิดจากรอยแผลเมื่อทำการปอกเปลือกหรือหั่นชิ้นจะกระตุ้นให้มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น จะเร่งอัตราการหายใจและการเสื่อมสลายให้เร็วขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้อ่อนนุ่ม (Toivonen and Brummell, 2008)

การเก็บรักษาเนื้อมังคุดที่ปอกเปลือกแล้ว ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่าความแน่นเนื้อลดลงจาก 13 นิวตัน เหลือประมาณ 7-9 นิวตัน (Manurakchinakorn *et al.*, 2005) ลูกพลับหั่นชิ้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน มีค่าความแน่นเนื้อลดลงจาก 3.04 นิวตัน เป็น 1.66 นิวตัน (Perez-Gago *et al.*, 2005) ความแน่นเนื้อของแคนตาลูปหั่นชิ้นที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน ลดลงจาก 15 นิวตัน เหลือประมาณ 8-12 นิวตัน หากจุ่มในสารละลายแคลเซียมแล็กเตต ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการเก็บรักษา เป็นเวลา 1 นาที สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงได้ประมาณ 25-33 เปอร์เซ็นต์ (Lana-Guzman and Barrett, 2000; Portela and Cantwell, 2001) ในสับปะรดหั่นชิ้นความแน่นเนื้อลดลงจาก 55 นิวตัน เหลือเพียงประมาณ 40 นิวตัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2004)

4. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี

การเก็บรักษาแรดิชหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid; TSS) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable; TA) และปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid; AA) ลดลงมากกว่าแรดิชที่ไม่ได้หั่นชิ้น (Del Aguila *et al.*, 2006) ผลกีวี่หั่นที่ขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน มีวิตามินซีลดลงประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ (Agar *et al.*, 1999) สำหรับแคนตาลูปหั่นชิ้น ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณน้ำตาลมีความเข้มข้นลดลง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เช่นเดียวกับผลมะเฟือง และแอปเปิล (Nicolais *et al.*, 2005; Senesi *et al.*, 2005; Teixeira *et al.*, 2005)

5. การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา

การปกเปลือกและหั่นชิ้นผักและผลไม้สด นอกจากจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี ทางสรีรวิทยาแล้ว ยังทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ง่ายด้วย เนื่องจากสารภายในเซลล์ที่รั่วไหลออกมาจากรอยบาดแผลของผักและผลไม้ เป็นแหล่งอาหารที่มีประโยชน์ ทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ดี และก่อให้เกิดการเน่าเสียของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค (Brackett, 1994) ตัวอย่างเช่น ผลการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ของผักกาดหอมห่อที่หั่นและไม่หั่นชิ้น พบว่าผักกาดหอมห่อหั่นมีจำนวนแบคทีเรีย และยีสต์-รา มากกว่าผักกาดหอมห่อที่ไม่ได้หั่นประมาณ 1.5 เท่า (Abadias *et al.*, 2008) ผลการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ของแคนตาลูปหั่นชิ้น ที่จุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที พบว่าสามารถควบคุมการเจริญของแบคทีเรียทั้งหมด และยีสต์-รา ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Portela and Cantwell, 2001) นอกจากนี้ Klaiber *et al.* (2005) ได้ศึกษาจำนวน จุลินทรีย์ของแครอทหั่นชิ้น ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน พบว่าแครอทหั่นชิ้นชุดควบคุมมีจำนวนจุลินทรีย์มากที่สุด และมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่จำนวนจุลินทรีย์ของแครอทหั่นชิ้นที่จุ่มในสารละลายคลอรีน มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

การควบคุมคุณภาพของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

1. วัตถุดิบ

การผลิตผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค ควรใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี มีระยะการแก่และสุกที่เหมาะสม ควรคัดเลือกวัตถุดิบโดยอาจใช้เกณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง สี รอยขีด และโรคการคัดเลือกวัตถุดิบเป็นขั้นตอนที่สำคัญก่อนกระบวนการผลิต ซึ่งหากไม่คัดแยกวัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพออกไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายได้ (Yildiz, 1994) เนื่องจากคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษามากกว่าการใช้สารที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพ (Plotto *et al.*, 2004)

2. กระบวนการผลิต

สิ่งสำคัญในกระบวนการผลิตผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค คือการรักษาความสะอาด เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ขั้นตอนการผลิต บรรจุภัณฑ์ รวมทั้งสภาพแวดล้อมระหว่างกระบวนการผลิตด้วย

การลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นของผักและผลไม้สดนั้น ทำได้โดยการล้างทำความสะอาด เพราะไม่เพียงเป็นการกำจัดเศษหิน ดิน ทรายที่ติดมากับผลิตผลเท่านั้น แต่อาจทำให้จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาหลุดออกไปได้

การทำความสะอาดอาจทำได้โดยการแช่ผักและผลไม้ในน้ำแล้วใช้มือถูทำความสะอาด หรือใช้เครื่องฉีดน้ำไปยังผักและผลไม้ หรือใช้เครื่องกวั่นให้น้ำเคลื่อนที่เพื่อพัดเอาฝุ่นผงดินให้หลุดออกไป หรือใช้เครื่องพ่นฝอยน้ำไปยังผักและผลไม้ที่เคลื่อนที่ตามสายพานก็ได้ การใช้หลายๆ วิธีรวมกันจะทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่หากน้ำที่ใช้ล้างไม่สะอาดจะเป็นการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้กับผักและผลไม้ได้ การใช้สารฆ่าเชื้อ เช่น สารละลายคลอรีน สารละลายไฮโดรเจน-เพอร์ออกไซด์ หรือสารละลายกรดชนิดต่างๆ สามารถช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดี(สุมาลี, 2541)การปอกเปลือกและการหั่นชิ้น ควรใช้มีดที่สะอาด และคม การปอกเปลือก หรือหั่นชิ้นผลไม้โดยใช้มีดที่คมมากๆ จะทำให้เซลล์ของผลไม้ถูกทำลายน้อยลง เช่น การหั่นแคนตาลูปโดยใช้มีดที่คม ทำให้มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 วัน ในขณะที่การหั่นโดยใช้มีดที่ไม่คมจะมีอายุการเก็บรักษาน้อยกว่า 6 วัน ที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส (Portela and Cantwell, 2001) และหลังการใช้งานควรล้างและทำความสะอาดใบมีดทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในการผลิตครั้งต่อไป (Yildiz, 1994)

3. การขนส่งและการจำหน่าย

ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคจะเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วระหว่างการขนส่ง จึงต้องรักษาความสะอาดระหว่างการขนส่ง ควบคุมสภาวะในการขนส่งให้มีอุณหภูมิต่ำ และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ในระหว่างการวางจำหน่าย ต้องมีการรักษาความสะอาดและควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมด้วยเช่นกัน (Yildiz, 1994)

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค และยังใช้เป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษาได้ด้วย จำนวนจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บรักษา โดยผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคที่มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยจะมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคที่มีจำนวนจุลินทรีย์มาก (Narciso and Plotto, 2005) อายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคนอกจากจะขึ้นกับจำนวนจุลินทรีย์แล้ว ยังขึ้นกับระยะความแก่และสุกของผลไม้ กระบวนการผลิตอุณหภูมิในการเก็บรักษา ความแน่นเนื้อ และพันธุ์ของผลไม้อีกด้วย (DeRoeve, 1998) การเข้าทำลายของเชื้อโรคต่างๆ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ขั้บถึงคุณภาพ และการจัดการในกระบวนการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภคที่เหมาะสม

วิธีการควบคุมจุลินทรีย์

การเสื่อมเสียของผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคอันเนื่องมาจากการเจริญของจุลินทรีย์สามารถควบคุมได้หลายวิธี ดังนี้

1. การควบคุมทางกายภาพ

1.1. อุณหภูมิ

1.1.1. ความร้อน

การใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เป็นอันตราย 2-3 องศาเซลเซียส กับผักและผลไม้สามารถกำจัดหรือยับยั้งการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ได้ การใช้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์มีประโยชน์ คือ ต้นทุนต่ำ ใช้เครื่องมือง่ายๆ และไม่มีสารเคมีตกค้างบนผิวของผักและผลไม้ ความร้อนที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์มีหลายแบบ เช่น ลมร้อน (hot air) ไอร้อนชื้น (humidified hot air) และน้ำร้อน (hot water) น้ำร้อนจะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด หรือบางครั้งการใช้ไอร้อนชื้นจะมีประโยชน์ในแง่ที่ไม่ต้องการเคลื่อนย้ายผลผลิตออกจากบรรจุภัณฑ์ การใช้ความร้อนควบคุมจุลินทรีย์จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ใกล้อุณหภูมิสูงสุดที่ผลิตผลจะสามารถทนได้ โดยไม่ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อ อย่างไรก็ตาม การใช้ความร้อนควบคุมจุลินทรีย์ ควรจะทดสอบอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด การศึกษาประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่เปลือกของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์โดยการจุ่มผลมะม่วงลงในน้ำ หรือสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 12 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าการใช้น้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ที่อุณหภูมิ 12 และ 50 องศาเซลเซียสสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เปลือกของผลมะม่วงได้ (Ngarmsak *et al.*, 2005)

1.1.2. ความเย็น

การเก็บรักษาผักและผลไม้สดไว้ที่อุณหภูมิต่ำๆ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และมีประโยชน์ในการชะลอการเน่าเสียของผักและผลไม้ที่มีการติดเชื้อจากจุลินทรีย์อยู่ได้ผิวที่ลึก และไม่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีอื่นๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้แต่ละชนิดจะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกัน เพื่อยับยั้งการเสื่อมสลาย (senescence) โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายจากการเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ดังนั้นอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการเก็บรักษาอาจจะยับยั้งการเน่าเสียของผักและผลไม้ โดยการทำให้ผักและผลไม้มีความต้านทานและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

1.2. ความแห้ง

ในการทำแห้งนั้น ความร้อนที่ได้จากกระบวนการสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ลงได้ แต่จะได้ผลมากน้อยเพียงใดนั้นจะแตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ จำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ และวิธีการให้ความร้อน ส่วนใหญ่แล้วแบคทีเรียและยีสต์จะถูกทำลายหมด แต่สปอร์ของแบคทีเรียและราต่างๆ อาจยังคงมีชีวิตรอดอยู่ได้ อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมในขณะทำแห้งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์อยู่แล้ว (สุมาลี, 2541)

1.3. แรงดันออสโมติก

ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์จะมีสารต่างๆ เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นถ้าหากความเข้มข้นของสารภายในเซลล์มีค่าน้อยกว่าภายนอกเซลล์ จะทำให้มีแรงดันออสโมติกมากกว่า น้ำจึงออสโมซิสออกจากเซลล์มีผลทำให้เซลล์เหี่ยว ในทางตรงข้ามถ้าความเข้มข้นของสารภายในเซลล์มีค่ามากกว่าความเข้มข้นภายนอกเซลล์ แรงดันออสโมติกจะต่ำกว่า ทำให้น้ำออสโมซิสเข้าสู่เซลล์ มีผลทำให้เซลล์เต่งหรืออาจแตกได้

หลักการของแรงดันออสโมติกที่แตกต่างกัน สามารถนำมาใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์ได้ โดยนำจุลินทรีย์มาไว้ในสารละลาย เช่น น้ำเกลือความเข้มข้น 10-15 เปอร์เซ็นต์ หรือ น้ำตาลความเข้มข้น 50-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีผลทำให้เซลล์จุลินทรีย์เหี่ยว ไม่สามารถเจริญต่อไปได้ วิธีนี้ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ แต่เป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เท่านั้น (สุมาลี, 2541)

1.4. รังสี

1.4.1. รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet)

รังสีอัลตราไวโอเลตที่อยู่ในช่วงคลื่นประมาณ 2600 อังสตรอม จะช่วยป้องกันและควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียเฉพาะที่อยู่ตามพื้นผิวได้ดี รังสีอัลตราไวโอเลตจะไม่แตกตัว แต่จะถูกโปรตีนและกรดนิวคลีอิกต่างๆ ดูดเอาไว้ซึ่งจะทำให้โปรตีนและกรดนิวคลีอิกเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เซลล์ตาย (สุมาลี, 2541) การใช้รังสี UV-C ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อ 'Red Oak Leaf' พบว่าการใช้รังสี UV-C ความเข้มข้นอย่างน้อย 30 จูลต่อตารางเมตร (Jm^{-2}) สามารถลดและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ หากใช้ที่ความเข้มข้น 85 Jm^{-2} จะสามารถยับยั้งการเจริญได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามการใช้รังสี UV-C ที่ความเข้มข้นสูงๆ (7.11 kJm^{-2}) จะทำให้เนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่ออ่อนนุ่มและเกิดสีน้ำตาล ภายหลังการเก็บรักษา เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Allende *et al.*, 2006)

1.4.2. รังสีแกมมา (gamma rays)

รังสีชนิดนี้ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกละเอียดออกมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตภาพ เช่น โคบอลต์-60 (cobalt 60) และซีเซียม-137 (caesium 137) รังสีชนิดนี้มีความสำคัญมากในการถนอมอาหาร มีกำลังทะลุทะลวงสูง เป็นรังสีที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีเสียง ไม่ร้อน และไม่รู้สึกตึงนั้น ถ้าถูกรังสีแกมมาจึงไม่รู้สึกตัวว่าถูกรังสี จึงควรระวังอย่างยิ่งในการใช้รังสีชนิดนี้ รังสีแกมมาสามารถใช้ในการรักษาคุณภาพของผักและผลไม้สดได้ แต่เมื่อใช้ปริมาณต่อครั้งสูงมากจะทำให้เกิดอาการผิดปกติกับผักและผลไม้สดได้ เช่น การเปลี่ยนสี เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม สุกผิดปกติ และเน่าเสียได้ง่าย (สุมาลี, 2541) การศึกษาการใช้รังสีแกมมา 0.5, 1.0 และ 1.5 kGy ในการรักษาคุณภาพของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่าการใช้รังสีแกมมา 1.0 kGy เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาคุณภาพของผักกาดหอมห่อ (Kim *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006) คือสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ ยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ในขณะที่การใช้รังสีแกมมา 1.5 kGy จะทำให้เซลล์หรือเนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่อเกิดความเสียหาย (Zhang *et al.*, 2006)

1.4.3. ไมโครเวฟ (microwaves)

พลังงานไมโครเวฟเกิดจากการนำอาหารที่เป็นกลางไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นจะมีอิเล็กตรอนไม่สมดุลวิ่งเข้าชนโมเลกุลของอาหาร ดึงเอาอิเล็กตรอนไปจับคู่เพื่อให้เกิดความสมดุลโมเลกุลที่ถูกชนจะเกิดความไม่สมดุล ซึ่งจะต้องพยายามดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นมาทดแทนเรื่อยๆ การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนออกมา คือพลังงานไมโครเวฟความยาวคลื่นของไมโครเวฟจะอยู่ระหว่างแสงอินฟราเรด (infra red) กับคลื่นวิทยุในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงใช้ในการทำลายราในขนมปัง การพาสเจอร์ไรซ์เบียร์ และการสเตอริไลซ์ไวน์ และในปัจจุบันยังนำไปใช้ประโยชน์ในการป้องกันการงอกของมันฝรั่งด้วย แต่การใช้ไมโครเวฟในการถนอมอาหารจะมีข้อจำกัด เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงได้ (สุมาลี, 2541)

2. การควบคุมด้วยสารเคมี

2.1. ฟีนอลและสารประกอบฟีนอล

ผลของสารประกอบฟีนอลในการทำลายจุลินทรีย์ คือจะทำให้เซลล์แตก ทำให้โปรตีนในเซลล์ตกตะกอน ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และทำให้กรดแอมิโนรั่วไหลออกจากเซลล์ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้จุลินทรีย์ตาย ส่งผลทำให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย และการผ่านเข้าออกของสารภายในเซลล์

ผิดปกติ มีผลทำให้เซลล์ตายได้ การศึกษาสมบัติในการทำลายจุลินทรีย์ของสารประกอบฟีนอลในไวน์แดงที่ผลิตจากองุ่นพันธุ์ต่างๆ พบว่าไวน์แดงที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินสูง มีสมบัติในการต้านทาน *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ (Radovanovic et al., 2009)

2.2. แอลกอฮอล์

เอทานอล หรือเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ทำให้โปรตีนตกตะกอน ซึ่งก่อให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน ตัวอย่างเช่น การใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นระหว่าง 70-95 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์สูงสุด อย่างไรก็ตาม เอทานอลยังก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการตายของจุลินทรีย์ด้วย (สุมาลี, 2541) การใช้ไอของเอทานอลร่วมกับการใช้น้ำร้อน (46 องศาเซลเซียส) ในการควบคุมจุลินทรีย์ของผลมะม่วงก่อนนำไปผลิตเป็นมะม่วงหั่นชิ้นพร้อมบริโภค พบว่าการรมผลมะม่วงด้วยเอทานอลเป็นเวลาอย่างน้อย 10 ชั่วโมงภายหลังการจุ่มในน้ำร้อน สามารถควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นได้ หากการรมผลมะม่วงด้วยเอทานอลเป็นเวลา 20 ชั่วโมง จะทำให้เนื้อมะม่วงหั่นชิ้นมีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ (Plotto et al., 2006)

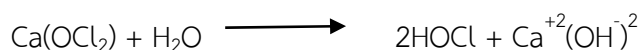
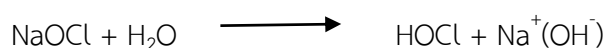
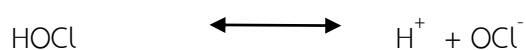
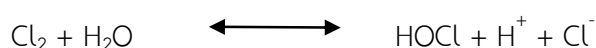
2.3. ฮาโลเจน

2.3.1. ไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite)

สารไฮโปคลอไรต์ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ โดยโซเดียมไฮโปคลอไรต์จะอยู่ในรูปสารละลายสีเหลืองอมเขียว มีกลิ่นฉุนของคลอรีน เป็นสารที่ไม่ติดไฟ แต่เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสจะสลายตัวได้ มีสมบัติเป็นด่างแก่ที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน ส่วนแคลเซียมไฮโปคลอไรต์จะอยู่ในรูปผงหรือเกล็ดสีขาวอมเหลือง เมื่อเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายจะมีสมบัติเป็นด่างแก่ที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนเช่นกัน

ก๊าซคลอรีนเมื่อละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและแตกตัว (ภาวะสมดุล) ได้เป็นสารประกอบในรูปต่างๆ ได้แก่ คลอรีน กรดไฮโปคลอรัส (hypochlorous acid, HOCl) และไฮโปคลอไรต์ไอออน (hypochlorite ion, OCl-) โดยสัดส่วนของสารประกอบแต่ละชนิดดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย กล่าวคือ ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชต่ำกว่า 2 สารประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคลอรีน ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2-6 สารประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปกรดไฮโปคลอรัส ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชสูงกว่า 7.8 สารประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไฮโปคลอไรต์ไอออน แต่ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชสูงกว่า 8.5 จะแตกตัวให้ไฮโปคลอไรต์ไอออนเกือบทั้งหมด

สารประกอบคลอรีนที่อยู่ในรูปโซเดียมไฮโปคลอไรต์และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นกรดไฮโปคลอรัส และสารประกอบไฮดรอกไซด์ ส่วนกรดไฮโปคลอรัสที่เกิดขึ้นจะแตกตัวเป็นไฮโปคลอไรต์ไอออน โดยปกติคลอรีนในรูปของกรดไฮโปคลอรัส และไฮโปคลอไรต์ไอออน เรียกว่า คลอรีนอิสระ (free available chlorine) ซึ่งมีความสามารถในการฆ่าเชื้อสูง โดยกรดไฮโปคลอรัสมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อได้ดีกว่าไฮโปคลอไรต์ไอออน 40-80 เท่าและประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของสารละลายจะลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (Gordon and Tachiyashiki, 1991; Lenntech, 2009)



กรดไฮโปคลอรัสที่อยู่ในสารละลายที่เป็นกลางหรือเป็นกรด จะเป็น oxidizing agent อย่างรุนแรงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายจุลินทรีย์ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงถ้ามีสารประกอบอินทรีย์อยู่ด้วยไม่ว่าจะมีปริมาณมากน้อยเพียงใด ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์นั้นนอกจากผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นภายในเซลล์จุลินทรีย์แล้ว ยังขึ้นกับผลของคลอรีนที่มีต่อโปรตีนของเซลล์โดยตรงอีกด้วย (Monarca *et al.*, 2004) เช่น งานวิจัยของ Ngarmsak *et al.* (2005) ที่รายงานว่าสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เปลือกของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ได้ ในขณะที่สารละลายกรดเพอร์ออกซีแอสติก ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากการล้างผลมะม่วงด้วยน้ำ ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เปลือกของผลมะม่วง

2.3.2. ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide: H_2O_2)

เป็นสารเคมีที่ทำลายจุลินทรีย์ได้ดี มีสมบัติเป็น oxidizing agent อย่างรุนแรง ความเข้มข้นที่ใช้กันทั่วไปคือ 3 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำลายเซลล์ปกติของแบคทีเรียได้ดีกว่าสปอร์ การที่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ทำลายจุลินทรีย์ได้นั้น เกิดจากการที่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นน้ำ และน้ำถูกเปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) จึงทำปฏิกิริยาได้กับไฮโดรเจนไอออน (H^+)ของโปรตีน เป็นผลให้โปรตีนเสียสภาพ เซลล์จึงตาย นอกจากนี้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ยังมีการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิด hydroxyl radical ภายในเซลล์ ซึ่งสารนี้มีความเป็นพิษสูง เซลล์จึงถูกทำลายได้ง่าย

ผลการศึกษาการใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ในการลดจำนวน *Salmonella* ที่เปลือกของผลแตงแคนตาลูปและอันนี้คิว พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้ลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดี นอกจากนี้ แตงแคนตาลูป และอันนี้คิวที่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ยังมีลักษณะปรากฏ และได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้บริโภคดีกว่าการไม่ใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน (Ukuku, 2004) การใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ร่วมกับนินซิน (nisin) โซเดียมแล็กเตต และกรดซิตริก เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าการใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับนินซิน ความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โซเดียมแล็กเตต ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว (Ukuku et al., 2005)

2.4. สบู่และสารซักฟอก (detergent)

สบู่มีสมบัติในการยับยั้งและทำลายจุลินทรีย์ได้ดี โดยสบู่จะทำลายเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์จึงเป็นการเพิ่มสมบัติการยอมให้สารผ่านเข้า-ออกจากเซลล์ ทำให้สารต่างๆ ภายในเซลล์ไหลออกสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว เซลล์จึงถูกทำลาย สำหรับทางการค้านี้ได้มีการนำสารที่ทำลายแบคทีเรียมาใช้เป็นส่วนผสมอยู่ด้วย ทำให้สบู่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย และจุลินทรีย์อื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น (สุมาลี, 2541)

การที่สารซักฟอกทำลายแบคทีเรียได้นั้น เนื่องจากสารซักฟอกทำให้โปรตีนภายในเซลล์เสียสภาพ และสารซักฟอกไปรวมตัวกับโปรตีนและลิพิดที่เยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่ผิดปกติ นอกจากนี้การที่ผิวเซลล์ของแบคทีเรียมีประจุลบ จึงยึดจับกับสารซักฟอกที่มีประจุบวกได้ดี ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการ

ฉีกขาด จึงเป็นการเพิ่มสมบัติการยอมให้สารผ่านเข้า-ออกจากเซลล์ และยังทำให้สารบางอย่างที่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียรั่วออกจากเซลล์ แบคทีเรียจึงตายในที่สุด

2.5. กรดและด่าง

กรดและด่างใช้ยับยั้งและทำลายจุลินทรีย์ได้ โดยจะแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน กรดอินทรีย์มีสมบัติในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่ากรดอินทรีย์ เพราะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้มากกว่า จุลินทรีย์แต่ละชนิดทนต่อสภาพความเป็นกรดได้แตกต่างกันยีสต์และราทนกรดได้ดีกว่าแบคทีเรีย กรดแก่และด่างแก่จะทำลายจุลินทรีย์โดยทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้สมบัติการยอมให้สารผ่านเข้า-ออกจากเซลล์เพิ่มขึ้น เซลล์จึงถูกทำลายในปัจจุบันได้มีการนำกรดและด่างไปใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์มากมาย เช่น กรดเบนโซอิก (benzoic acid), กรดซาลิไซลิก (salicylic acid), กรดฟอร์มิก (formic acid), กรดเพอร์ออกซี-แอสติก (peroxyacetic acid), กรดซิตริก, โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

3. การควบคุมทางชีวภาพ ด้วยสารปฏิชีวนะและยารักษาโรค

การนำเอาสารปฏิชีวนะที่ไม่เป็นพิษมาใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์ มีข้อควรคำนึงถึง คือสารปฏิชีวนะนั้น มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ ดังนั้น สารปฏิชีวนะอาจมีผลทำลายจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งได้ แต่ไม่สามารถทำลายชนิดอื่นๆ ทำให้ได้ผลไม่ดี หรืออาจต้องใช้สารปฏิชีวนะหลายชนิดซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองมาก และจุลินทรีย์จะมีความสามารถในการพัฒนาตนเองให้สามารถทนทานต่อความเข้มข้นของสารปฏิชีวนะ หรือที่เรียกว่าดื้อต่อสารปฏิชีวนะ ผู้ที่บริโภคอาหารที่มีสารปฏิชีวนะอยู่เสมอ อาจมีผลต่อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลำไส้ตามปกติ และมีการพัฒนาของจุลินทรีย์ให้ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะชนิดนั้นได้ ถึงแม้ว่าสารปฏิชีวนะที่ใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์จะน้อยกว่าที่ใช้ในการรักษาก็ตาม ดังนั้นจึงได้กำหนดให้เลือกใช้สารปฏิชีวนะที่ไม่ได้ใช้ในการรักษามาใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์ (นงลักษณ์และปรีชา, 2544)

การทำ pre-treatment สำหรับเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพร้อมบริโภคร

การทำ pre-treatment สำหรับเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพร้อมบริโภครมีหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. วิธีทางกายภาพ

1.1. อุณหภูมิ

การศึกษาการควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นพันธุ์โชคอนันต์โดยการล้างผลมะม่วงในน้ำอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สารละลายกรดเพอร์ออกไซด์ไฮโดรเจนความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที พบว่าการล้างผลมะม่วงด้วยน้ำอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการลดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และยีสต์-รา ที่เปลือกผลมะม่วง และการล้างผลมะม่วงด้วยน้ำอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก่อนการหั่นชิ้นสามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน (Ngarmsak *et al.*, 2005)

1.2. การดัดแปลงหรือควบคุมสภาพบรรยากาศ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยาของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง ($4 \text{ kPa O}_2 + 10 \text{ kPa CO}_2$ หรือ $2 \text{ kPa O}_2 + 10 \text{ kPa CO}_2$) และบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน พบว่าการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายได้ แต่อุณหภูมิจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการยืดอายุการวางจำหน่าย (Rattanapanone *et al.*, 2001) การเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ จะลดอัตราการหายใจของเนื้อมะม่วงซึ่งมีประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษา แต่อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นได้ (Nakamura *et al.*, 2004)

1.3. การใช้สารเคลือบผิว

การใช้สารเคลือบผิว เช่น สารละลาย carboxymethylcellulose ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ หรือ สารละลาย carboxymethylcellulose ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ maltodextrin ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เช่น calcium ascorbate ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และ N-acetyl-L-cysteine ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พบว่าการใช้สารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของเนื้อมะม่วงสุกระหว่างการเก็บรักษาได้ และการใช้ carboxymethylcellulose เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ

maltodextrin สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพต่างๆ เช่น สี และความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นได้ (Plotto *et al.*, 2004) นอกจากนี้ Purwadaria and Wuryani (2000) ได้ศึกษาสารเคลือบผิวชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมของ soy protein isolate, low methoxy pectin, alginate acid, sodium alginate, glycerol 87 เปอร์เซนต์, beewax, lauric acid และ stearic acid เคลือบผิวเนื้อมะม่วงพันธุ์ Arumanis หั่นชิ้น พบว่าสามารถชะลอการหายใจ และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นได้

2. การใช้สารเคมี

2.1. สารยับยั้งการทำงานของเอนทิซินร่วมกับเอทานอล

การยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นพันธุ์ Kent และ Tommy Atkins โดยการรมผลมะม่วงก่อนการหั่นชิ้นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ด้วย 1-methylcyclopropene(1-MCP) ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 หรือ 12 ชั่วโมง หรือเอทานอล (5.0 กรัมต่อผลไม้ 1 กิโลกรัม) เป็นเวลา 24 หรือ 8 ชั่วโมง และการใช้ความร้อนอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 98 เปอร์เซนต์เป็นเวลา 24 หรือ 12 ชั่วโมง พบว่า การใช้ 1-MCP และการใช้ความร้อน ทำให้เนื้อมะม่วงมีค่าความแน่นเนื้อลดลง ในขณะที่การใช้เอทานอลจะยังคงรักษาค่าความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงได้ แต่เอทานอลจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ เมื่อเก็บรักษาเนื้อมะม่วงพันธุ์ Kent เป็นเวลา 8 วัน ส่วนเนื้อมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins พบว่าการใช้ 1-MCP จะทำให้ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นลดลง (Plotto *et al.*, 2003)

2.2. Anti-browning agents

การปรับปรุงคุณภาพของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้น โดยใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ 4-hexylresorcinol (HR) (0.001 mol/L) ร่วมกับ potassium sorbate (KS) (0.05 mol/L) และ HR + KS + D-isoascorbic acid (ER) (0.5 mol/L) ร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) พบว่า การใช้ HR + KS + ER ร่วมกับ MAP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี (L^* , a^* และ b^*) และการเจริญของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและ MAP นี้ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดและน้ำตาลของเนื้อมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2000)

2.3. Firming agents

การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (0-8% w/w) อุณหภูมิ (20-55 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (5-60 นาที) ในการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้น โดยพิจารณาจากสี ความ

แน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และค่าพีเอช ของเนื้อมะม่วง พบว่าการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3.5% w/w อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาคุณภาพของเนื้อมะม่วงหั่นชิ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นโดยบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศพบว่าการจุ่มเนื้อมะม่วงหั่นชิ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่สภาวะดังกล่าวข้างต้นร่วมกับการเก็บรักษาโดยใช้บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ (5% O₂ และ 5% CO₂) สามารถรักษาคุณภาพของเนื้อมะม่วงได้เป็นเวลา 5 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Trindade *et al.*, 2003)

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้

การใช้ฟิล์มบริโภคได้และการเคลือบผิวจะถูกขยายสำหรับหลากหลายของผลิตภัณฑ์อาหารรวมทั้งผลไม้สดและการประมวลผลน้อยที่สุดและผัก เหตุผลในการใช้งานคือยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ (Park *et al.*, 1994) การควบคุมการเกิดออกซิเดชันและ degradative ปฏิกริยาการหายใจ (McHugh และ Krochta, 1994), เพิ่มเนื้อและประสาทสัมผัสลักษณะและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Guilbert *et al.*, 1996) Krochta (2001) แสดงให้เห็นว่าปัจจุบันการเคลือบผิวที่บริโภคได้ในเชิงพาณิชย์เป็นตัวทำละลายตาม (เอทานอล) และการอุตสาหกรรมอาหารควรเปลี่ยนสารเคลือบตัวทำละลายเหล่านี้ให้มีการเคลือบน้ำตามไปให้แน่ใจว่าผู้ปฏิบัติงานและความปลอดภัยด้านสิ่งแวดล้อม

การเคลือบผิวผลิตผลด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ เพื่อทดแทนสารเคลือบผิวธรรมชาติที่หายไปมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ ลดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผล และจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สภายในผล (จรัสแท้, 2544) การควบคุมให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงและออกซิเจนต่ำ ส่งผลต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งการยับยั้งโดยตรงและเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อโรค (สายชล, 2528) นอกจากนี้การเคลือบผิวยังช่วยทำให้ผลิตผลมีลักษณะปรากฏที่ดี ผิวสด ไม่เหี่ยว และมีความมันวาว ดึงดูดความสนใจผู้บริโภค และใช้สารเคลือบผิวยังมีประโยชน์ทางอ้อม คือ สามารถผสมสารอื่นลงไปกับสารเคลือบผิว เช่น การผสมสารต้านจุลินทรีย์ สารต้านออกซิเดชัน สารสีหรือสารย้อมผิว สารให้กลิ่น สารเติมแต่งอาหารอื่น ๆ เป็นต้น สารเคลือบผิวเหล่านี้จะช่วยเป็นตัวพาสารเคมีให้ติดอยู่กับผิวผลิตผล (นิธิยา และ ไพโรจน์, 2547) นอกจากนี้การใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ช่วยลดการสูญเสีย

ชนิดของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้

สารประกอบที่ใช้กันมาก ได้แก่ ไคโตซาน, แป้ง, เซลลูโลส, อัลจีเนต, คาราจีแนน, เซอีน, เวย์, คาร์นูบา, ขี้ผึ้ง และกรดไขมัน เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้สารประกอบเหล่านี้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 การใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้

Fresh-cut fruits	Coating composition	Reference
Apple	Alginate	[52, 53, 54]
Apple	Whey protein	[55, 56]
Apple	○ Whey protein ○ Hydroxypropyl methylcellulose	[57]
Apple	Trehalose, sucrose and sodium chloride	[58]
Banana	Carrageenan	[59]
Cactus pear	○ Sodium alginate ○ Agar ○ Fish protein gel	[60]
Litchi	Chitosan	[61]
Mango	Chitosan	[7]
Mango	Mango puree	[62]
Melon	Alginate	[63]
Papaya	Chitosan	[64]
Papaya	Alginate	[65]
Pear	Alginate	[66]
Pear	Hydroxypropyl methylcellulose	[67]
Plum	Hydroxypropyl methylcellulose	[68]
Strawberries	Chitosan	[32]

ที่มา: Corbo และคณะ 200

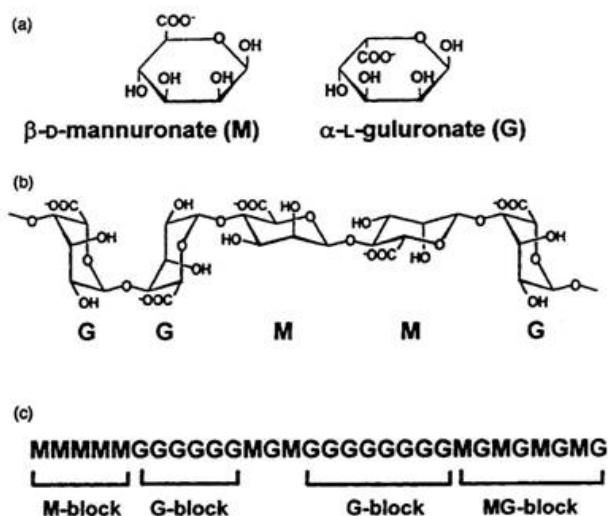
อัลจีเนต (Alginate)

อัลจีเนตหรืออัลจินเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ในการผลิตอัลจีเนตเป็นอุตสาหกรรมสาหร่ายทะเลที่ใช้ ได้แก่ *Macrocystis pyrifera* มีอัลจินประมาณ 14-19 %, *Laminaria cloustoni* และ *Laminaria digitata* มีอัลจินประมาณ 15-40 % ปริมาณที่พบจะขึ้นกับชนิดของสาหร่ายฤดูกาล และแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโต สาหร่ายเหล่านี้พบได้ทั่ว ๆ ไปในโลก ประเทศที่ผลิตอัลจีเนต มาก คือ อเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน นอร์เวย์ แคนาดา และญี่ปุ่น

อัลจีเนตเป็น unbranched binary copolymer ของ 1,4-b-D-manuronic acid (M) และ L-guluronic acid (G) ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric regions ของ G และ M ที่เรียกว่า G- และ

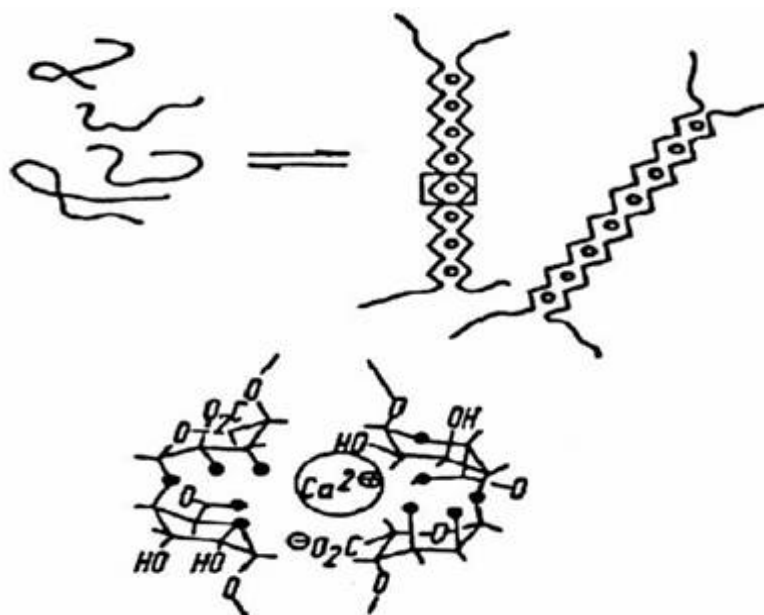
M-blocks ตามลำดับและยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks ดังภาพที่ 2.2 สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจินต เช่น ถ้าโพลิเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงจะมี สมบัติเป็น เจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (polyvalent metal cation) แต่ถ้า โพลิเมอร์มี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจล ที่กว้างกว่า อัลจินตที่ผลิตจำหน่าย เป็นการค้ามีหลายอนุพันธ์จึงมีสมบัติการละลายในน้ำที่แตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ ของเกลือ Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ และยังผลิตในรูปของ propylene glycol alginate ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของ alginic acid กับ propylene oxide ภายใต้ความดัน อนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของ สารละลายอัลจินตที่ได้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และการมีโลหะประจุบวก

อัลจินตไม่ทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นเจลและจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} โครงสร้าง ของเจลมี ลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg box) โดยมี Ca^{2+} เกาะอยู่กับสายโพลิเมอร์ดังภาพที่ 2.3 คุณสมบัติที่ดีของอัลจินตคือ ทำให้เกิด Irreversible gel ในน้ำเย็นเมื่อมี Ca^{2+} รวมอยู่ด้วย ซึ่งคุณสมบัติในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำนี้ทำให้อัลจินต แตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากสาหร่ายสีแดง



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอัลจินต (Alginate) ชนิดต่างๆ

ที่มา : Phillips and Williams, 2000



ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดเจลของ calcium alginate (Egg-box model)

อัลจินตถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 โดยเติมในอาหารกระป๋อง บางชนิด ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทำให้มีล้นชั้นคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสาร ยับยั้งการเกิด syneresis ตัวอย่างเช่น

- propylene glycol alginate ใช้ในน้ำสลัด (salad dressing) และเบียร์ เพราะมีความสามารถละลายได้สูงที่ pH ต่ำ
- โซเดียมอัลจินตใช้เป็นส่วนผสมในไส้พายมะนาวที่แช่เย็นเพื่อให้เกิดความคงตัวระหว่าง freeze-thaw
- ใช้เคลือบผิวชิ้นเนื้อปลาก่อนนำไปแช่เยือกแข็งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด freeze burn กับชิ้นเนื้อปลา
- ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม, frozen dessert, sherbet, processed cheese และใช้เป็น Alginate gel restructured products เช่น Onion rings และ Shrimp-like fish products

เจลแลนกัน (Gellan gum)

เจลแลนกันเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตจากการหมักคาร์โบไฮเดรตด้วยจุลินทรีย์ *Pseudomonas elodea* เจลแลนกันมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ซึ่งสายหลักประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ ของน้ำตาลกลูโคส กรดกลูโคนิก น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลแรมโนส การละลายของเจลแลนกันต้องใช้ความร้อนสูงกว่า 90 °C และไม่สามารถละลายได้ในน้ำกระด้าง ในการเกิดเจลต้องใช้ไอออนประจุบวก (divalent cation) เช่น แคลเซียม ไอออน (Omoto *et al.*, 1999) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเจลแลนกัน ได้แก่ ความเป็นกรด และความร้อนที่ใช้ในการทำให้เจลแลนกันละลาย (Yamamoto and Curha, 2007) ปริมาณน้ำตาล (Miyoshi and

Nishinari, 1999) และไอออนในสารละลาย (Morris *et al.*, 1999) เจลที่เกิดจากเจลแลนกันมีลักษณะใส เป็นตัวปลดปล่อยกลิ่นรสที่ดี และทนต่อความร้อน สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชในระดับต่าง ๆ ได้ในช่วงกว้าง (Miyoshi and Nishinari, 1999)

สารเคลือบผิวไมโครอิมัลชัน

อิมัลชัน หมายถึง การกระจายตัวของของเหลว 2 ชนิด หรือมากกว่าที่ไม่ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากมีแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวทั้งสองชนิด หากเป็นอิมัลชันปกติหรือแมโครอิมัลชันจะเป็นสารละลายสีขาวขุ่น และเมื่อตั้งทิ้งไว้ของเหลวจะแยกออกจากกันเป็น 2 ชั้นสำหรับไมโครอิมัลชันจะมีลักษณะตรงข้ามกับแมโครอิมัลชันคือ จะไม่ปรากฏลักษณะเป็นสีขาวขุ่น สารละลายที่ได้จะมีลักษณะโปร่งแสง (translucent) หรือโปร่งใส (transparent) มีความคงตัวดีและไม่แยกชั้น อนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าแมโครอิมัลชัน ประมาณ 2000 อังสตรอม (0.2 ไมโครเมตร, μm) ถึง 100 อังสตรอม (0.01 ไมโครเมตร) ดังนั้นการที่จะเรียกว่า แมโครอิมัลชันหรือไมโครอิมัลชันจึงขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค เพราะเกิดจากกระบวนการอิมัลซิฟิเคชันเช่นเดียวกัน (Prince, 1977) ไมโครอิมัลชันเตรียมขึ้นครั้งแรกโดย George Radaward ในปี ค.ศ. 1928 เป็นการกระจายตัวของคาร์บูบาร์แวชในน้ำ และเนื่องจากขนาดอนุภาคของไมโครอิมัลชันจะเล็กมาก จึงจัดไมโครอิมัลชันเป็นนาโนเทคโนโลยีอย่างหนึ่ง ในระบบของไมโครอิมัลชันของเหลวชนิดหนึ่งจะต้องเป็นน้ำเสมอ แต่แมโครอิมัลชันน้ำจะเป็นของเหลวชนิดหนึ่งและอาจไม่มีน้ำก็ได้ สำหรับไมโครอิมัลชันที่ผลิตในทางการค้าจะประกอบด้วย น้ำมันหรือแวช น้ำ และสารลดแรงตึงผิวหรืออิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งนิยมใช้กรดไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารร่วมลดแรงตึงผิว (co-surfactant) ซึ่งมักเป็นแอลกอฮอล์ และเรียกแอลกอฮอล์ว่าเป็น amphiphile ซึ่งสามารถทำให้เกิดเป็นอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากๆ ได้ สารละลายที่ได้จะกระจายตัวเป็นของเหลวโปร่งใสที่แสงผ่านได้ และถ้าปั่นในเครื่องเหวี่ยงนาน 5 นาที ที่ 100xg จะไม่เกิดการแยกชั้น ในปัจจุบันกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและยาส่วนใหญ่จะเตรียมให้อยู่ในรูปของไมโครอิมัลชัน (Hagenmaier and Baker, 1994a; Hagenmaier, 1998a) การทำสารเคลือบผิวให้อยู่ในรูปสารละลายไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นการกระจายตัวของแวชในน้ำ เมื่อสารเคลือบผิวแห้งโครงสร้างของสารเคลือบผิวจะมีรูเล็กๆ เกิดขึ้น เนื่องจากอนุภาคหยดน้ำในอิมัลชันระเหยหายไป จึงเป็นช่องทางให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้บ้าง นอกจากนี้ความร้อนและความเร็วที่ใช้ในระหว่างผสมจะเป็นเทคนิคสำคัญที่ทำให้ได้สารเคลือบผิวที่มีลักษณะเป็นไมโครอิมัลชัน (Hagenmaier, 1998a) กรดไขมันที่นิยมใช้ในการเตรียมสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชัน ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid: $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และกรด

ไขมันชนิดอิ่มตัว ได้แก่ กรดไมริสติก (myristic acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$) กรดลอริก (lauric acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) กรดปาล์มิติก (palmitic acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$) และกรดสเตียริก (stearic acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$) (Hagenmaier and Baker, 1994a) หากกรดไขมันที่ใช้มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ยาวจะ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียให้กับสารเคลือบผิวได้ดีกว่าโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นโซ่สั้น และ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียได้ดีกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Javis *et.al.*, 1962)