บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 มะม่วง (Mangoes)

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae มีถิ่นกำเนิดในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออก (Bompard and Schmell, 1997) เป็นผลไม้ที่ออกตามฤดูกาล ปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย มะม่วงที่ปลูกในภาคกลางเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ส่วนมะม่วงที่ปลูกในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน (รวยริน, 2547) แต่ในปัจจุบันมีการผลิตเป็นมะม่วงนอกฤดูจำนวนมากขึ้น ทำให้ผลผลิตมะม่วงล้นตลาดเกินความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ เกิดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวในปริมาณมาก และผลผลิตมีราคาต่ำ

มะม่วงจัดอยู่ในกลุ่มผลไม้ประเภทบ่มให้สุก (climacteric fruit) ตามลักษณะของการหายใจของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว (ตาราง 2.1) ซึ่งมีการหายใจและการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลมะม่วงสดมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นและเน่าเสียได้ง่าย อันเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำกัดด้านการขยายตลาดของผลมะม่วงสด โดยเฉพาะสู่ระดับสากล (Mitra and Baldwin, 1997) ผลมะม่วงแบ่งออกตามลักษณะการใช้ประโยชน์เป็น 3 ประเภท (อมรศรี, 2547)

ก. มะม่วงบริโภคผลสุก ผลมะม่วงกลุ่มนี้เมื่อผลดิบจะมีรสเปรี้ยวแต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีรสหวาน เป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศ ได้แก่ พันธุ์อกร่อง น้ำดอกไม้ ทองดำ และหนัง-กลางวัน

ข. มะม่วงบริโภคผลดิบ ผลมะม่วงกลุ่มนี้เป็นที่นิยมของตลาดภายในประเทศ ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย แรด หนองแซง และพิมเสนมัน

ค. มะม่วงสำหรับอุตสาหกรรมหรือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น มะม่วงกวน มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงอบแห้ง พันธุ์ที่เหมาะสำหรับการแปรรูป ได้แก่ พันธุ์แก้ว สามปี เขียวมรกต และตลับนาค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างผลไม้ที่จำแนกตามลักษณะของการหายใจ

ประเภทของผลไม้	ชนิดของผลไม้
Climacteric	กล้วย ขนุน มังคุด ละมุด มะเขือเทศ มะเดื่อ มะละกอ มะม่วง แอปเปิล บ๊วย อะโวกาโด แคนตาลูป ท้อ สาลี่ พลับ
Non-climacteric	แตงกวา ชมพู่ พริก มะนาว ส้ม ลิ้นจี่ ลำไย สับปะรด มะม่วง-หิมพานต์ องุ่น เชอรี สตรอเบอรี โอลีฟ

ที่มา: จริงแท้ (2546)

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (*M. indica* cv. Nam Dok Mai) เป็นมะม่วงที่บริโภคผลสุก มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองผลดิบอายุผลประมาณ 2-3 เดือน จะมีผิวเป็นสีเหลืองอ่อนคล้ายมะม่วงสุก ซึ่งแตกต่างจากผลมะม่วงทั่วไปจะมีผิวสีเขียว ผลของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจะมีเปลือกหนากว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทวายเบอร์ 4 ทำให้ป้องกันการช้ำและต้านทานโรคแอนแทรกโนสได้ดีกว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทวายเบอร์ 4 ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีลักษณะผลอ้วนเกือบกลม หัวใหญ่ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เนื้อมาก เมล็ดเล็กและลีบบาง รสชาติเมื่อผลอ่อนมีรสเปรี้ยว ผลแก่มีรสมัน เนื้อกรอบ (ภาพที่ 2.1a-1,2) น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 300-500 กรัมต่อผล มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) 17-18 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาบ่มให้สุกจะมีกลิ่นหอม และรสหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเป็น 18-23 เปอร์เซ็นต์ เนื้อไม่มีเสี้ยน เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดบาง น้ำหนักต่อผลประมาณ 300-400 กรัม ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น (นิทยา, 2548)

มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (*M. indica* cv. Chok anan) เป็นมะม่วงบริโภคผลสุก เกิดจากการกลายพันธุ์ของการเพาะเมล็ดของมะม่วงพันธุ์สามปี ปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศ บังคับให้ออกดอกได้ง่ายและติดผลได้ตลอดทั้งปีแม้กระทั่งในฤดูฝน มีการเจริญเติบโตค่อนข้างดี ออกดอกง่าย (กาญจนา, 2543) มีลักษณะทรงผลรูปไข่ (obviate) รูปหน้าตัดทรงผลตามขวางป้อมรี คล้ายมะม่วงพิมเสนมัน เปลือกผลหนา เนื้อแข็ง เมื่อผลสุกผิวผลและเนื้อจะเป็นสีเหลือง (ภาพที่ 2.1b-1,2) เนื้อแน่นละเอียดไม่มีเสี้ยน น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 300-400 กรัม มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวคล้ายมะม่วงสามปี รสชาติหวาน เมล็ดลีบหรือเมล็ดบาง ผลสุกสามารถเก็บรักษาไว้ได้ประมาณ 5-7 วัน ที่อุณหภูมิห้องโดยที่เนื้อยังไม่เละ ผลแก่เก็บรักษาไว้ได้นานถึง 15 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มะม่วงพันธุ์มหาชนก (*M. indica* cv. Mahachanok) เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างมะม่วงพันธุ์ Sunset กับมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน โดยการนำลักษณะที่ดีของมะม่วงแต่ละพันธุ์มาไว้ในมะม่วงพันธุ์มหาชนก โดยเฉพาะคุณภาพในการบริโภคผลสุก ซึ่งจะมีรสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอม สีผลสวยงาม ลักษณะทรงผลยาวรีเหมือนมะม่วงพันธุ์งาช้าง ผลอ่อนเปลือกมีสีเขียวอ่อน เนื้อเรียบ เมื่อผลแก่เปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มถึงส้มปนสีแดง (ภาพที่ 2.1c-1,2) การเปลี่ยนสีผิวจะผันแปรตามสภาพแวดล้อม อุณหภูมิและแสงแดด เมื่อผลสุกเนื้อภายในมีสีเหลืองทอง เนื้อละเอียดและแน่น มีปริมาณน้ำในเนื้อปานกลาง มีเส้นใยน้อย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 18-23 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 300-500 กรัม (เดช, 2542)

ภาพที่ 2.1 พันธุ์มะม่วง a-1 = พันธุ์น้ำดอกไม้ดิบ, a-2 = น้ำดอกไม้สุก, b-1 = พันธุ์โชคอนันต์ดิบ, b-2 = พันธุ์โชคอนันต์สุก, c-1 = พันธุ์มหาชนกดิบ และ c-2 = พันธุ์มหาชนกสุก (ที่มา: http://images.google.com)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณค่าทางโภชนาการ

ผลมะม่วงสุกมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุต่างๆ วิตามินซี และแคโรทีน สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของผลมะม่วงแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะม่วงต่อหน่วย 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	เนื้อมะม่วง 100 กรัม
พลังงาน (แคลอรี่)	60
ไขมัน (กรัม)	0.3
โปรตีน (กรัม)	0.6
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	15.9
ใยอาหาร (กรัม)	0.5
ฟอสฟอรัส (กรัม)	15.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	10.0
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม)	0.3
วิตามินเอ (IU)	133.0
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	36.0

ที่มา: กลุ่มธุรกิจพืชครบวงจร ข้อมูลผลิตภัณฑ์ (http://www.cpcrop.com)

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกของผลมะม่วง

ผลมะม่วงที่บริโภคผลสุกควรเก็บเกี่ยวเมื่อมีความแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ การพิจารณาความแก่บริบูรณ์ที่เหมาะสมจะใช้ค่าความหนาแน่น ผลมะม่วงที่แก่บริบูรณ์จะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ เมื่อทดสอบจะจมในน้ำแต่ลอยในน้ำเกลือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2546) เนื่องจากผลมะม่วงที่แก่มีช่องว่างระหว่างเมล็ดมากและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกหรือเอ็นโดคาร์บ (endocarp) แข็ง (สายชล, 2533) ผลมะม่วงเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้ว สารอาหารและส่วนประกอบต่างๆ ภายในผลมะม่วงจะถูกออกซิไดซ์เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการดำรงชีวิตของเซลล์ ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่แก่บริบูรณ์ จะมีกระบวนการสุกเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลมะม่วงสุก ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การหายใจ

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เมื่อที่ผลไม้เริ่มสุก และมีอัตราการหายใจในระดับสูงสุด ช่วงการเกิด climacteric peak (ตารางที่ 2.3) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ (Salisbury and Ross, 1985) (ภาพที่ 2.2) คือ

1) Pre-climacteric เป็นระยะที่มีอัตราการหายใจต่ำ ผิวผลมีสีเขียว และลักษณะเนื้อแข็ง

2) Climacteric rise ระยะนี้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ผิวผลยังคงมีสีเขียว และเนื้อยังแข็งอยู่ ช่วงเวลาตั้งแต่เก็บเกี่ยวผลจากต้นกระทั่งสิ้นสุดระยะนี้ ใช้ระยะเวลาประมาณ 6 วัน

3) Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ผลเริ่มนิ่ม ผิวผลเริ่มเปลี่ยนสี และเริ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อย โดยทั่วไประยะนี้เกิดขึ้นประมาณวันที่ 6-10 ภายหลังการเก็บเกี่ยว

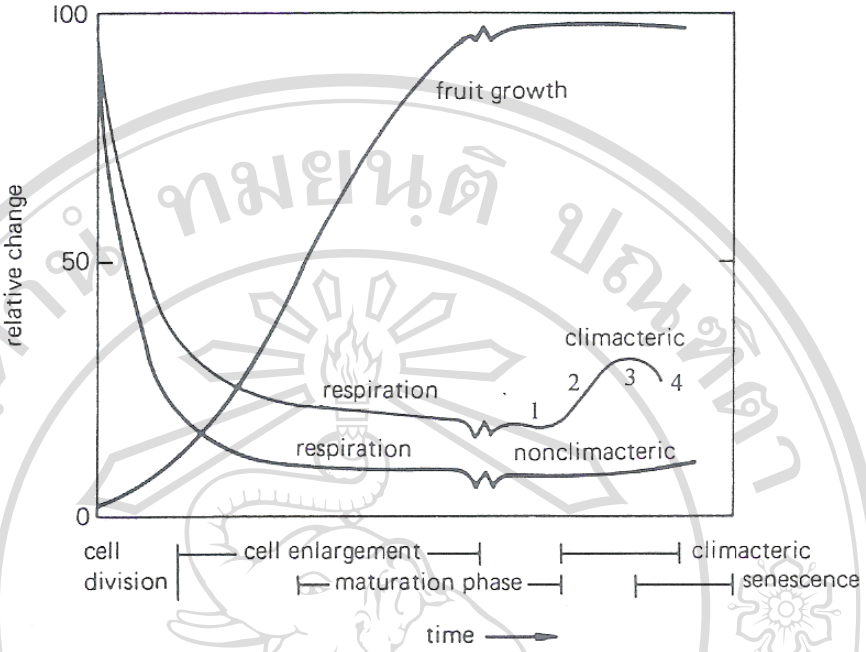
4) Post-climacteric เป็นระยะที่อัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างช้าๆ เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน ผลมีผิวสีเหลือง เนื้อผลเริ่มนิ่มและมีกลิ่นหอม

สำหรับผลมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากวันแรก และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 5 หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว (จริงแท้, 2546)

2. การผลิตเอทิลีน

มะม่วงเป็นผลไม้ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีอัตราการผลิตเอทิลีนในระดับปานกลาง (ตารางที่ 2.4) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การผลิตเอทิลีนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับสูงสุด ในวันที่ 4 มีปริมาณเท่ากับ 4.5 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีการผลิตเอทิลีนสูงสุดเท่ากับ 0.25 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อผ่านไป 12 วัน หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงจะมีผลิตเอทิลีนสูงสุดเท่ากับ 1.14 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมงหลังเก็บรักษานาน 24 วัน (สุกันยา, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงของการเจริญเติบโตระยะต่างๆ 1 = pre-climacteric 2 = climacteric rise 3 = climacteric peak 4 = post-climacteric (Salisbury and Ross, 1985)

ตารางที่ 2.3 อัตราการหายใจของผักและผลไม้บางชนิดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ประเภทของอัตราการหายใจ	อัตราการหายใจสูงสุดที่ 25 °C ($มก.CO_2$/กก.ชม.)	ชนิดของผลิตผล
ต่ำมาก	<5	เมล็ดมะม่วงหิมพานต์
ต่ำ	5 – 20	ส้ม สับปะรด กะหล่ำปลี หอมหัวใหญ่
ปานกลาง	20 – 100	เงาะ มังคุด มะละกอ มะเขือเทศ มะเขือยาว ผักกาดขาวปลี
สูง	100 – 200	มะม่วง น้อยหน่า หน่อไม้ฝรั่ง ผักคะน้า ผักบุ้งจีน
สูงมาก	>200	ทุเรียน ข้าวโพดฝักอ่อน ถั่วฝักยาว เห็ด

ที่มา: จริงแท้ (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 กลุ่มผักและผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนในอัตราต่างๆ กัน

กลุ่ม	อัตราที่ 20 °C (C_2H_4/กก.ชม.)	ชนิดพืช
ต่ำมาก	0.01 – 0.1	ส้มชนิดต่างๆ องุ่น สตรอเบอรี เชอรี ทับทิม ผักรับประทานใบเมืองหนาว ผักรับประทานราก มันฝรั่ง
ต่ำ	0.1 – 1.0	แตงกวา กระเจี๊ยบเขียว พริกยักษ์ พลับ สับปะรด เงาะ กระเทียม ข้าวโพดฝักอ่อน ถั่วฝักยาว หน่อไม้ฝรั่ง ผักกาดขาวปลี มะเขือยาว หอมหัวใหญ่ ผักบุ้งจีน เห็ดผักคะน้า
ปานกลาง	1.0 – 10.0	กล้วยหอม แตงเทศ มะม่วง มะเขือเทศ ทุเรียน มังคุด น้อยหน่า
สูง	10.0 – 100.0	แอปเปิล อะโวกาโด แคนตาลูป กีวี มะละกอ พลับ สาลี่ฝรั่ง
สูงมาก	>100	กะทกรกฝรั่ง ละมุด

ที่มา: จริงแท้ (2546)

3. การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมะม่วงจากสีเขียว เมื่อผลดิบเป็นสีเหลือง เมื่อผลสุกจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพันธุ์ โดยระหว่างการสุกจะมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จากกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Kader, 2000) มีการสังเคราะห์แซนโทฟิลล์ แคโรทีน และแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองแดง เหลืองส้ม และสีม่วงน้ำเงิน ตามลำดับปรากฏขึ้น ทำให้เปลือกของผลมะม่วงสุกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง หรือส้มแดง เช่น เปลือกผลมะม่วงพันธุ์ Harden เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลืองส้ม พันธุ์ Tommy Atkins เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มแดง แต่บางสายพันธุ์เปลือกผลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อสุก เช่น พันธุ์ Keitt (Cruze and García, 2002) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อสุกจะเปลือกผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง (จริงแท้, 2546) เนื้อมะม่วงเมื่อสุกจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง เนื่องจากมีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในเนื้อมะม่วงเพิ่มขึ้น (Pantastico, 1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การอ่อนตัวของเนื้อมะม่วง

การอ่อนตัวของเนื้อมะม่วงเกิดจากเซลล์พาเรนไคม่ามีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น (stiffness; elastic modulus) เฮมิเซลลูโลสที่ผนังเซลล์มีน้ำหนักโมเลกุลลดลง ผนังเซลล์เสื่อมสภาพจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของผนังเซลล์เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ polygalactouranose (PG) เพิ่มขึ้น โครงสร้างเพกทินของผนังเซลล์สลายตัวลงเมื่อผลมะม่วงเข้าสู่ระยะแก่ (Kala *et al.*, 1995; Singh *et al.*, 2006) และสารภายในเยื่อหุ้มพลาสม่ามีความเข้มข้นน้อยกว่าภายนอกเยื่อหุ้ม ทำให้สูญเสียน้ำออกจากเซลล์โดยผ่านทางช่องเปิดต่างๆ แรงดันเต่งภายในลดลง การคืนตัวของเซลล์ (cell relaxation) ลดลงเพราะแรงยึดเกาะระหว่างเซลล์ลดลง (Abbott and Harker, 2003) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อผลเริ่มสุกได้ 1 วัน มีค่าความแน่นเนื้อ 8.7 นิวตัน และลดลงเป็น 0.50 นิวตัน เมื่อผลนิ่มได้ 10 วัน (ธีราพร, 2536) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Keitt ที่อุณหภูมิ 5 และ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน พบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีความแน่นเนื้อลดลงน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส (Lederman *et al.*, 1997) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระยะผลดิบ มีค่าความแน่นเนื้อ 14.12 นิวตัน และเมื่อผลสุกมีค่าความแน่นเนื้อ 9.78 นิวตัน (เสาวภา, 2547)

5. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี

ระหว่างการแก่และสุกของผลมะม่วง นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อแล้ว ยังมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีลดลงตลอดระยะเวลาที่ผลสุกเองตามธรรมชาติ ผลมะม่วงมีการสูญเสียน้ำมากขึ้นทำให้น้ำหนักสดลดลง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (สายชล, 2530)

5.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด กรดที่พบมากในผลไม้มักจะอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ เช่น ซิตริก (citric acid) และมาลิก (malic acid) ผลมะม่วงมีปริมาณกรดซิตริกมากกว่ากรดชนิดอื่น ในช่วงผลอ่อนจะมีการสะสมกรดเป็นจำนวนมาก เมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดซิตริกจะลดลงโดยเฉพาะเมื่อผลมะม่วงเริ่มสุก ปริมาณกรดซิตริกจะลดลงมากที่สุด (Kays, 1991) การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้นในช่วง 15 วันแรก แต่หลังจากนั้นปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงเรื่อยๆ กระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา (Kaewchana *et al.*, 2003) ส่วนปริมาณวิตามินซีในเนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ แต่ปริมาณวิตามินซีลดลงระหว่างที่ผลสุกและการเก็บรักษา (Mitra and Baldwin, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล ผลมะม่วงมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตในรูปของสตาร์ช ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะการสุก น้ำตาลที่พบในผลมะม่วงมี 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรักโทส ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม (Nanjundaswamy, 1997) โดยปกติภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลยังมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา และใช้น้ำตาลเป็นแหล่งสารอาหารที่ให้พลังงาน ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่สะสมอยู่ลดน้อยลง นอกจากการหายใจแล้วยังอาจมีสาเหตุอื่นที่ทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง เช่น เกิดจากการสูญเสียน้ำ หรือการเปลี่ยนน้ำตาลไปอยู่ในรูปสารประกอบชนิดอื่น เมื่อวัดปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง refractometer ค่าที่ได้อาจเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลมะม่วงสูญเสียน้ำไประหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น (จริงแท้, 2538) ตัวอย่างเช่น มะม่วงพันธุ์ Keitt และ Paimer มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อผลมะม่วงสุก หากนำมาผลิตเป็นมะม่วงสุกหั่นชิ้นพร้อมบริโภค ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นในช่วง 4 วันแรก ระหว่างการเก็บรักษา หากเก็บรักษานานกว่า 7 วัน ปริมาณน้ำตาลจะลดลง (Beaulieu and Lea, 2003)

6. การเก็บรักษาผลมะม่วง

ปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลมะม่วง คือการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผลมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit เมื่อผลมะม่วงแก่จัด หรือเริ่มสุก จะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น (สายชล, 2530) อายุการเก็บรักษาสั้น จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อชะลอกระบวนการหายใจ และกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ ตลอดจนอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปผลมะม่วงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ได้ประมาณ 2-3 สัปดาห์ (Kader, 2000) ส่วนผลมะม่วงส่งออกของไทยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13-15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ได้นาน 2 สัปดาห์ (ทวีศักดิ์, 2547) อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้เกิดความเสียหาย และผิดปกติ ซึ่งอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเซลล์ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งเป็นเวลานานๆ เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งอาการนี้เองเป็นข้อจำกัดในการเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (Kader, 2000) โดยระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความรุนแรงของอาการสะท้านหนาว ลักษณะอาการที่พบเมื่อผลมะม่วงเกิดอาการสะท้านหนาว คือ มีการสุกไม่สม่ำเสมอ ผิวมีรอยช้ำ จุดคล้ำ มีกลิ่น และรสชาติผิดปกติ (Kala *et al,* 1995) มีการศึกษาในมะม่วงน้ำดอกไม้พบว่า หากเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน ผลมะม่วงจะไม่แสดงอาการสะท้านหนาว และยังสามารถสุกได้เมื่อนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Tungtirmthong *et al.*, 2001) หากเก็บรักษาไว้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน แล้วนำมาวางให้สุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงจะแสดงอาการสะท้านหนาว หากบ่มด้วยแก๊สอะเซทิลีนก่อนนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส จะไม่พบอาการสะท้านหนาว (Whangchai *et al*., 1999) ซึ่งผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีความอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 (เสาวภา, 2547)

2.2 สับปะรด (Pineapples)

สับปะรด (*Ananas comosus* (L.) Merr) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่อยู่ในวงศ์ Bromeliaceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ (Collins, 1968) สับปะรดถูกนำมาปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เพื่อใช้บริโภคผลสด และใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเป็นสับปะรดกระป๋องส่งออกต่างประเทศ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้ได้นาน และได้รับความนิยมบริโภคเป็นจำนวนมากในตลาดต่างประเทศ สำหรับปริมาณการส่งออกผลสับปะรดสดมีเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ของสับปะรดทั้งหมดที่ผลิตได้ในประเทศไทย ส่วนตลาดภายในประเทศไทย ผู้บริโภคนิยมบริโภคสับปะรดผลสดมากกว่าสับปะรดกระป๋อง (Siriphanich, 1993) โดยพันธุ์ที่นิยมบริโภคผลสด ได้แก่ พันธุ์ภูเก็ต ศรีราชา และนางแล เป็นต้น ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมซื้อในรูปของเนื้อสับปะรดสดหั่นชิ้นบรรจุภาชนะ ที่วางจำหน่ายในตลาดสดหรือซูเปอร์มาเก็ต เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีความยุ่งยากในการเตรียม (Rattanapanone *et al*., 2000)

สับปะรดพันธุ์ศรีราชา หรือปัตตาเวีย (*A. comosus* cv. Smooth Cayenne) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี เพชรบุรี และลำปาง เพราะมีสมบัติเหมาะสมสำหรับการใช้บริโภคผลสด และใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปเป็นสับปะรดกระป๋อง มีผลขนาดใหญ่ทรงกลมรี หรือทรงกระบอกขึ้นกับสภาพแวดล้อม น้ำหนักผลโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0-2.5 กิโลกรัม เมื่อผลแก่เปลือกจะมีสีเหลืองอมส้มหรือเขียวคล้ำ ตาแบนเรียบตื้น (ภาพที่ 2.3a) ไส้ใหญ่แต่ไม่เหนียว เนื้อมีสีเหลืองอ่อน รสหวานอมเปรี้ยว ฉ่ำน้ำมาก กลิ่นหอมเล็กน้อย มีเส้นใยปานกลาง ปริมาณกรดและน้ำตาลค่อนข้างสูง โดยเฉลี่ยมีปริมาณกรด 0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำตาล 12-16 เปอร์เซ็นต์ (จินดารัฐ, 2541)

พันธุ์ภูเก็ตหรือควีน (*A. comosus* cv. Queen) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อนำผลมาบริโภคผลสด สับปะรดพันธุ์นี้มีการปลูกมากในจังหวัดภูเก็ต ชุมพร นครศรีธรรมราชและตราด โดยปลูกระหว่างแถวของต้นยางในสวนยางพาราที่ยังมีอายุน้อย ผลมีขนาดเล็กรูปร่างค่อนข้างเรียวยาวเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทรงกระบอกสม่ำเสมอ ตาถี่ลึก (ภาพที่ 2.3b) น้ำหนักผลโดยเฉลี่ยประมาณ 0.5-1.2 กิโลกรัม มีก้านยาว เนื้อสีเหลืองจัด รสชาติดี หวานหอม เนื้อกรอบ เนื่องจากเนื้อมีช่องว่างเป็นโพรงไม่ฉ่ำน้ำ มีกลิ่นหอมแรง มีเส้นใยน้อย ไม่นิยมนำมาผลิตเป็นสับปะรดกระป๋อง (จินดารัฐ, 2541)

ภาพที่ 2.3 พันธุ์สับปะรด a = พันธุ์ศรีราชา และ b = พันธุ์ภูเก็ต (ที่มา: http://images.google.com)

คุณค่าทางโภชนาการ

เนื้อสับปะรดนิยมนำมาบริโภคสดหรือปรุงเป็นอาหาร และแปรรูปเป็นสับปะรดกระป๋อง น้ำคั้นนำมาทำเป็นเครื่องดื่มน้ำสับปะรดกระป๋อง สกัดกรดอินทรีย์ กากนำไปกวนเป็นสับปะรดกวน หรือแยมสับปะรด และยังใช้ผสมเป็นอาหารสัตว์หรือทำปุ๋ยหมัก (เกศิณี, 2530) เนื้อสับปะรดมีสารอาหารที่ให้ประโยชน์จำนวนมาก และยังมีสรรพคุณช่วยในการย่อยอาหาร เนื่องจากสับปะรดมีเอนไซม์โบรมิเลนซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน น้ำสับปะรดดับร้อนแก้กระหาย ช่วยป้องกันโรคไตอักเสบ ความดันโลหิตสูง และหลอดลมอักเสบเมื่อบริโภคเป็นประจำ (วัรชัย, 2538) สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของผลสับปะรดแสดงในตารางที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการของสับปะรดต่อ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	เนื้อสับปะรด 100 กรัม
พลังงาน (แคลอรี่)	47
ไขมัน (กรัม)	0.3
โปรตีน (กรัม)	0.7
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	11.6
ใยอาหาร (กรัม)	1.2
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	11.34
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	4.48
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม)	0.27
เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)	1.83
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	22

ที่มา: เว็บไซด์สมุนไพรเพื่อสุขภาพ (http://lifestyle.kingsolder.com)

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการแก่และสุกของสับปะรด

สับปะรดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric (ตารางที่ 2.1) มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการสุกเพียงเล็กน้อยหลังการเก็บเกี่ยว และมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในระดับที่ต่ำหรือค่อนข้างคงที่ ระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือเมื่อผลสับปะรดมีความบริบูรณ์มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีเปลือก ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง สีของเนื้อภายในผลเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง โดยการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มจากส่วนโคนผลขึ้นไปสู่ส่วนปลาย ก้านผลจะเริ่มเหี่ยวเป็นเป็นร่องตามแนวยาว ในบางฤดูผลสับปะรดอาจแก่พร้อมเก็บเกี่ยวได้โดยเนื้อภายในผลมีความบริบูรณ์มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ แต่สีของเปลือกผลยังเป็นสีเขียวเช่นเดิม (จินดารัฐ, 2541; Paull, 2001) นอกจากนี้ผลสับปะรดที่แก่จัดพร้อมเก็บเกี่ยวควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดประมาณ 12-14 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดประมาณ 0.9-1.3 (Paull, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การหายใจ

ผลสับปะรดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาในระดับต่ำ เช่น อัตราการหายใจของผลสับปะรดจะลดต่ำลงเรื่อยๆ อย่างช้าๆ และมีอัตราค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่กระบวนการแก่ (ภาพที่ 2.1) อัตราการหายใจของผลสับปะรดจะอยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 2.3) เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ประเภท climacteric fruit (จริงแท้, 2546) และที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ผลสับปะรดมีอัตราการหายใจประมาณ 22 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมชั่วโมง (Paull, 2001)

2. การผลิตเอทิลีน

ผลสับปะรดมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวแต่ไม่สูงมากเหมือนผลมะม่วงหรือผลไม้ประเภท climacteric fruit (Paull, 2001) และมีอัตราการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำ (ตาราง 2.4) ตัวอย่างเช่น สับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศปกติ มีปริมาณเอทิลีนสูงสุด (0.38 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง) ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน และค่อยๆ ลดลงและมีปริมาณต่ำสุด (0.34 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง) ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน (Yong *et al.*, 2004)

3. การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อ

ระหว่างการสุกสีเปลือกของผลสับปะรดจะเริ่มพัฒนาตั้งแต่ในระหว่างการเจริญเติบโตจนกระทั่งหลังการเก็บเกี่ยว เปลือกผลของสับปะรดจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (Paull, 2001) ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เปลือกจะลดลงในช่วงประมาณ 10-15 วันก่อนผลแก่ ปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกจะลดลงเรื่อยๆ ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ในเนื้อสับปะรดมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นในช่วง 10 วันก่อนผลแก่ (จินดารัฐ, 2541; Paull, 2001)

4. การอ่อนตัวของผล

ถึงแม้ว่าสับปะรดจะเป็นผลไม้ในกลุ่ม non-climacteric ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากภายหลังการเก็บเกี่ยว แต่พบว่าผลสับปะรดมีการอ่อนตัวลงทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง ตัวอย่างเช่น สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน ความแน่นเนื้อลดลงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ (Yong *et al.*, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลสับปะรดจะยังไม่สุก แต่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีภายในผลของสับปะรด ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด วิตามิน และน้ำตาล

5.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด กรดที่พบในเนื้อผลสับปะรดเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งมีประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของกรดที่พบอยู่ในรูปของกรดอิสระ ได้แก่ กรดซิตริกซึ่งมีปริมาณสูงสุด รองลงมาเป็นกรดมาลิก นอกจากนั้นยังพบกรดมาโลนิก และกรดซักซินิกในปริมาณเล็กน้อย สิ่งแวดล้อมมีผลต่อปริมาณกรดในเนื้อของสับปะรด โดยในฤดูหนาวผลสับประรดจะมีปริมาณกรดซิตริกสูงกว่าปริมาณกรดมาลิก (จินดารัฐ, 2541; Paull, 2001) ปริมาณกรดซิตริกในเนื้อสับปะรดจะลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดลดลงสูงสุดประมาณ 48 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน (Bantaotook *et al.*, 2004)

ปริมาณกรดในเนื้อสับปะรดมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช (pH) ของน้ำคั้น โดยปกติจะมีค่าพีเอชประมาณ 3.9-3.7 และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผลสับปะรดเข้าสู่การเสื่อมสภาพ (Paull, 2001) แต่ในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีค่าพีเอชลดลงจาก 4.5 เป็น 3.0 ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา (Yong *et al.*, 2004) ส่วนปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) ของผลสับปะรดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ และมีปริมาณน้อยประมาณ 3-25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (จินดารัฐ, 2541; Paull, 2001; Smith, 1993)

5.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล เนื้อสับปะรดสะสมอาหารในรูปของน้ำตาล ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรักโทส โดยน้ำตาลซูโครสมีระดับสูงที่สุด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลสับปะรดมีประมาณ 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่บริเวณส่วนฐานของผลซึ่งจะมีความหวานมากกว่าส่วนปลายผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเนื้อผลของสับปะรดไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา (Paull, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. การเก็บรักษาผลสับปะรด

สับปะรดเป็นไม้ผลเขตร้อน อุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการเก็บรักษาผลสับปะรดอยู่ระหว่าง 7-12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ที่ความชื้นระดับนี้จะช่วยลดการสูญเสียน้ำได้ โดยสามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ (Paull, 2001; Rieger, 2006; Smith, 1993) หากเก็บรักษาสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส จะเก็บรักษาได้ประมาณ 1 สัปดาห์ แต่จะเกิดอาการสะท้านหนาว ซึ่งอาการที่เกิดจะขึ้นอยู่กับระดับความสุกแก่ของผลสับปะรดที่เก็บเกี่ยว

มาด้วย (Paull, 2001; Smith, 1993) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่เก็บเกี่ยวในช่วงกึ่งสุกกึ่งดิบ (half-ripe) สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7.5-12.5 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 10 วัน และมีอายุการวางจำหน่าย (shelf-life) ได้นานถึง 1 สัปดาห์ โดยไม่เกิดสีน้ำตาลจากอาการสะท้านหนาว นอกจากจะใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาแล้วยังสามารถใช้สภาพบรรยากาศดัดแปลงควบคู่ไปด้วย โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนให้เหลือเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดอาการสะท้านหนาวและทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นได้ และการใช้ไขผลไม้เคลือบผิวผลร่วมกับการเก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (Paull, 2001)

2.3 ผลไม้สดพร้อมบริโภค (minimally processed fruit หรือ fresh-cut)

ผลไม้สดพร้อมบริโภคหรือผลไม้สดหั่นชิ้น หมายถึง ผลไม้สดที่ผู้ผลิตนำมาผ่านกระบวนการอย่างหนึ่งอย่างใดหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การล้างทำความสะอาด การปอกเปลือก การตัดแต่ง การผ่าซีกเอาไส้และเมล็ดออก การหั่นชิ้น บรรจุในภาชนะ เช่น ถาดโฟม ถุงพลาสติก กล่องพลาสติก เป็นต้น แล้ววางจำหน่าย โดยที่ผลไม้ยังคงมีชีวิตอยู่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบางง่ายต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดการเน่าเสีย และเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ (ภาพที่ 2.4) ได้เร็วกว่าปกติ (จริงแท้, 2546) การผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภค เป็นการพัฒนาวิธีการวางจำหน่ายสินค้าเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกสบาย ไม่ต้องตระเตรียมผลไม้ด้วยตัวเอง และมีพื้นที่ตู้เย็นที่บ้านสำหรับการเก็บรักษาจำกัด และสามารถนำไปบริโภคได้ทันที (Rattanapanone *et al.*, 2000) ผลไม้สดพร้อมบริโภคมีข้อดี คือสามารถรักษาคุณภาพไว้ได้ใกล้เคียงกับผลสดปกติมากกว่าการแปรรูปผลไม้วิธีอื่น นอกจากนี้ผู้บริโภคจะมองเห็นคุณภาพของผลไม้ได้ชัดเจนกว่าผลไม้สดทั้งผล (จริงแท้, 2546; Wiley, 1994) และผู้ผลิตสามารถตัดส่วนที่มีตำหนิ เน่าเสียทิ้งได้ ในประเทศไทยผลไม้สดที่นิยมนำมาผลิตเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภค ได้แก่ ขนุน สับปะรด แตงโม แคนตาลูป ฝรั่ง มะละกอ และส้มโอ เป็นต้น (Rattanapanone *et al.*, 2000; Siriphanich, 1993)

ผลไม้ที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปพร้อมบริโภค

การผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภคไม่สามารถนำผลไม้สดทุกชนิดมาผลิตได้ เนื่องจากเหตุผลบางประการ ซึ่งผลไม้ที่นิยมนำมาผลิตเป็นผลไม้สดหั่นชิ้นพร้อมบริโภคจะมีลักษณะดังต่อไปนี้ (จริงแท้, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลมีขนาดใหญ่ ผลไม้หลายๆ ชนิดมีผลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ทำให้ไม่สะดวกในการซื้อ และเตรียมสำหรับบริโภค โดยเฉพาะสำหรับครอบครัวสมัยใหม่ที่มีขนาดเล็ก และมีพื้นที่ในการเก็บรักษาจำกัด เช่น ขนุน ซึ่งมีน้ำหนักผลประมาณ 5-20 กิโลกรัม (Rattanapanone *et al.*, 2000)

ราคา ผลไม้บางชนิดนอกจากมีราคาสูงแล้ว ถ้าผลมีขนาดใหญ่หรือน้ำหนักมาก ทำให้มีราคาสูงตามไปด้วย มีผลต่อการดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค

คุณภาพภายใน ผลไม้หลายชนิดมีปัญหาเรื่องคุณภาพภายใน ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้จากภายนอก เช่น ทุเรียนไส้ซึม และอาการข้าวสารในส้มโอ เป็นต้น การแปรรูปเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภคจะช่วยตรวจสอบคุณภาพภายในได้ชัดเจนขึ้น

ปอกเปลือกยาก ผลไม้ เช่น ทุเรียน เป็นผลไม้ที่เปลือกมีหนามแหลม ขนุน เป็นผลไม้ที่เปลือกมีน้ำยางเหนียว ปอกได้ยากและอาจมีอันตราย ต้องใช้ความชำนาญ ทำให้ผู้บริโภคไม่เสียเวลา หรือเสี่ยงในการปอกเอง

ลดน้ำหนักระหว่างการขนส่ง เปลือกหรือส่วนที่บริโภคไม่ได้ในผลไม้บางชนิดมีปริมาณมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูงขึ้น การปอกเปลือกก่อนการขนส่งเป็นการลดน้ำหนักระหว่างการขนส่งได้ ผลไม้ที่มีเปลือกหนา เช่น ทุเรียน มังคุด ส้มโอ สับปะรด เป็นต้น

การเข้าทำลายโดยแมลงวันผลไม้ ผลไม้บางชนิดคุณภาพลดลง เนื่องจากมีแมลงวันผลไม้เข้าทำลาย ทำให้ไม่สามารถส่งไปขายต่างประเทศได้ การแปรรูปเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภคอาจช่วยแก้ไขปัญหา และลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นได้

การเปลี่ยนแปลงภายหลังการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค

ภายหลังการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีบาดแผลที่เกิดจากการปอกและหั่นชิ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีรวดเร็วกว่าผลไม้ที่ไม่ผ่านการแปรรูป (ภาพที่ 2.4) และง่ายต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ (จริงแท้, 2546; Rattanapanone *et al.*, 2000) มีรายละเอียดดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา

บาดแผลของผลไม้สดพร้อมบริโภคที่เกิดจากการกระบวนการแปรรูป เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการความผิดปกติทางด้านสรีรวิทยา (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) ผลการวิจัยมีรายงานไว้ดังนี้

1.1 การสูญเสียน้ำหนักสด การหั่นชิ้นทำให้พื้นที่ผิวและเกิดบาดแผล น้ำจึงสามารถระเหยออกได้ทางบาดแผล ส่งผลให้น้ำหนักสดของชิ้นเนื้อผลไม้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้สดที่

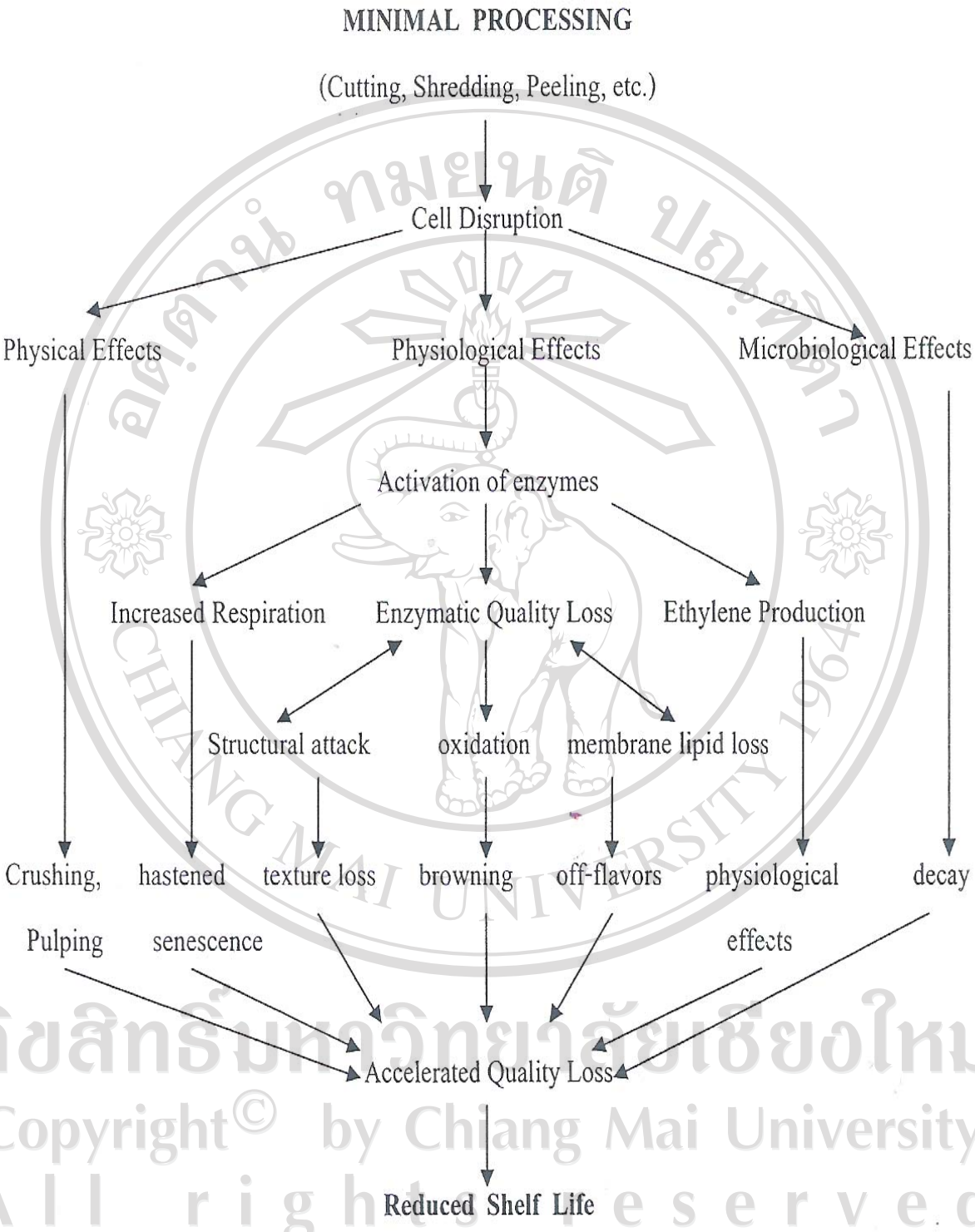
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่ได้หั่นชิ้น ตัวอย่างเช่น การปอกและการหั่นชิ้นผลกีวี่ฟรุ๊ต (Agar *et al.*, 1999) เชอร์รี่ (Toivonen *et al.*, 2006) และมะละกอ (Paull and Chen, 1997) และขนาดของชิ้นที่หั่นก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดเช่นกัน โดยพบว่า หากชิ้นที่หั่นมีขนาดเล็กลงจะสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น เช่น ในแรดิชหั่นชิ้น (Del Aguila *et al.*, 2006) และ Swiss chard (Roura *et al.*, 2000) นอกจากนั้นระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้นจะสูญเสียน้ำหนักสดมากขึ้น เช่น ลูกพลับสดหั่นชิ้น (Perez-Gago *et al.*, 2005)

1.2 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ สีของเนื้อผลไม้สดภายหลังหั่นชิ้นสามารถสังเกตได้ชัดเจน สีจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค และเป็นตัวชี้วัดอายุการเก็บรักษาของผลไม้สดพร้อมบริโภคในชั้นวางจำหน่าย (Rico *et al.*, 2007) ผลิตผลบางชนิดเมื่อมีการปอกและหั่นชิ้นส่งผลให้บริเวณรอบๆ บาดแผลเกิดสีน้ำตาล (browning) (จริงแท้, 2546) เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidases (PPO) (Toivonen and Brummell, 2008) ส่งผลให้สีของชิ้นผลไม้คล้ำลง ค่า L* ลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น เช่น ชิ้นแอปเปิล (Rocha and Morais, 2003) เนื้อมังคุดปอกเปลือก (Manurakchinakorn *et al.*, 2005) สับปะรด (Antoniolli *et al.*, 2005) พลับ (Perez-Gago *et al.*, 2005) Fennel หั่นชิ้น (Spogna *et al.*, 2005) และแครอทหั่นชิ้น (Klaiber *et al.*, 2005)

1.3 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเป็นปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่งของผลิตผลสดพร้อมบริโภค ซึ่งเป็นตัวจำกัดอายุการวางจำหน่าย (Toivonen and Brummell, 2008) เป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสียความเต่งจากการสูญเสียน้ำภายในเซลล์ การเคลื่อนย้ายของไอออนจากผนังเซลล์ และกิจกรรมของเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนส (Rico *et al.*, 2007) ซึ่งจะเกิดขึ้นแตกต่างกันตามลักษณะของชนิดของผลไม้ พันธุ์ โครงสร้าง และส่วนประกอบทางเคมีของผลิตผล ในผลไม้สดหั่นชิ้น เช่น แคนตาลูป (Portela and Cantwell, 2001) สับปะรด (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2004) และมะละกอ (Paull and Chen, 1997; Karakurt and Huber, 2003) ความแน่นเนื้อของชิ้นผลไม้จะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น หากผลไม้ผ่านการรมด้วย 1-methylcyclopropene (1-MCP) จะสามารถชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อลงได้ เช่น แอปเปิล (Ergun *et al.*, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้สดที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป (Tien, 2001)

1.4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ เนื่องจากผลไม้สดพร้อมบริโภคยังเป็นผลิตผลที่มีชีวิต เมื่อเกิดบาดแผลจากการปอกเปลือกและหั่นชิ้น จึงส่งผลให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น (Rico *et al.*, 2007) การที่อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากบาดแผลจะไปกระตุ้นการสังเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของผลไม้สดหั่นชิ้น (Hodges and Toivonen, 2008) ซึ่งผลไม้สดหั่นชิ้นจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลไม้ทั้งผล เช่นผลกีวี่ (Agar *et al.*, 1999) และผักกาดหอม (Watada *et al.*, 1996) รูปแบบการหั่นชิ้น และขนาดของชิ้นมีผลต่ออัตราการหายใจเช่นเดียวกัน โดยการหั่นชิ้นขนาดเล็กจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น เช่น แรดิช (Del Aguila *et al.*, 2006) และสับปะรด (Marrero and Kader, 2006) อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษามีผลต่ออัตราการหายใจ โดยพบว่า เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการหายใจลดลง (Escalona *et al.*, 2006)

1.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตเอทิลีน อัตราการผลิตเอทิลีนของผลิตผลสดพร้อมบริโภคมีอัตราการเพิ่มขึ้นตามกระบวนการแปรรูปเช่นเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ และเนื่องจากกระบวนการสุกภายในของผลไม้เอง (Ahvenainen, 1996; Laurila *et al.*, 2002) บาดแผลที่เกิดขึ้นส่งผลต่ออัตราเมแทบอลิซึม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตเอทิลีนในบางกรณี (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) โดยส่งเสริมการสังเคราะห์เอนไซม์ 1-aminocyclopropane-1- carboxylate synthase (ACC synthase) ซึ่งเปลี่ยน S-adenosyl methionine (SAM) เป็น ACC ในกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน (จริงแท้, 2546) ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์เอทีลีนเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อปริมาณฮอร์โมนเอทิลีน และการตอบสนองด้านอื่นๆ ด้วย (Hodges and Toivonen, 2008; Toivonen and Brummell, 2008) เอทิลีนที่ถูกผลิตขึ้นจะสะสมอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ และทำให้เกิดผลกระทบอื่นๆ ตามมา เช่น เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (Watada and Qi, 1999) การเกิดบาดแผลเนื่องจากการหั่นชิ้นยังส่งผลต่อการผลิตเอทิลีน ในผลไม้ปกติจะมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณต่ำ เช่น สับปะรดหั่นชิ้นจะมีปริมาณเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (Marrero and Kader, 2006) และถึงแม้ผลไม้จะได้รับการรมด้วย 1-MCP ซึ่งเป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน การเกิดบาดแผลยังสามารถกระตุ้นให้ผลไม้เหล่านั้นผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นได้ (Vilas-Boas and Kader, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.6 การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte leakage; EL) เป็นผลเนื่องจากระดับของบาดแผลที่ได้รับจากการแปรรูปและการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ (Lu, 2007) นอกจากนี้การรั่วไหลของสารออกจากเซลล์ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลิตผลอีกด้วย (Ergun *et al.*, 2007) เช่น มีรายงานว่าผลมะเขือเทศหั่นชิ้นมีปริมาณของสาร

อิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน (Hong and Gross, 1998) แคนตาลูปหั่นชิ้นมีปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นถึง 25-30 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน (Portela and Cantwell, 2001) และการหั่นมะละกอ ตรวจพบปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง (Karakurt and Huber, 2003)

2. การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี

การประเมินการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีที่เกิดขึ้นภายหลังการหั่นชิ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล ตัวอย่างเช่น การสูญเสียปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) ในการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการหั่นชิ้นของแรดิชพบว่า การหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ สูญเสียปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มากกว่าการหั่นเป็นแผ่นบางและการไม่หั่นชิ้น (Del Aguila *et al.*, 2006) ผลกีวี่หั่นชิ้นมีปริมาณ TSS และ TA ลดลงประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน (Agar *et al.*, 1999) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวชี้วัดการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส และรสชาติของผลไม้สดพร้อมบริโภคอีกด้วย

2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่าพีเอช (pH) กระบวนการผลิตหรือแปรรูปและสภาพบรรยากาศการเก็บรักษามีผลต่อค่าพีเอชของผลไม้สดพร้อมบริโภค (Rico *et al.*, 2007) แคนตาลูปหั่นชิ้นสดมีค่าพีเอชมีลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (Nicolais *et al.*, 2005) เช่นเดียวกับมะเฟือง (Teixeira *et al.*, 2005) และแอปเปิล (Senesi *et al.*, 2005) นอกจากนี้ค่าพีเอชยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งจะเกิดสีน้ำตาลที่ผิวบริเวณรอยตัดได้ดีที่ค่าพีเอชประมาณ 7 และการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยผลไม้สดพร้อมบริโภคที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4-6 (Rico *et al.*, 2007; Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) เช่น ผักกาดหอมสดพร้อมบริโภคเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาจะมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นด้วย (Heard, 2002)

2.2 สารอาหาร นอกจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผลไม้สดหั่นชิ้นยังมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารอย่างอื่นอีก ได้แก่ วิตามิน น้ำตาล กรดแอมิโน ไขมัน และปริมาณเส้นใย (Ahvenainen, 1996; Rico *et al.*, 2007) โดยเฉพาะปริมาณวิตามินซีจะลดลงมากระหว่างการเก็บรักษา เช่น ผลกีวี่ (Agar *et al.*, 1999) และมันฝรั่งพันธุ์ Agria และ Spunta (Tudela *et al.*, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส

เป็นการประเมินคุณภาพโดยการสังเกตลักษณะปรากฏ เช่น สีเนื้อ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวัด ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กลิ่น และรสชาติ (Rico *et al.*, 2007) ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อแครอทหั่นชิ้น (Klaiber *et al.*, 2005) แคนตาลูปหั่นชิ้น (Lana-Guzman and Barrett, 2000) เนื้อมังคุดปอกเปลือก (Manurakchinakorn *et al.*, 2005) และมันฝรั่งหั่นชิ้น (Beltran *et al.*, 2006) เก็บรักษาเป็นเวลา 10-14 วัน พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น

4. การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

ผักหรือผลไม้สดที่สัมผัสกับอากาศจะมีการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ หรืออาจเกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่สะอาดเพียงพอ จะส่งผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผักและผลไม้สดหั่นชิ้นได้ เนื่องจากผลไม้สดหั่นชิ้นมีบาดแผลและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ คือ มีค่าพีเอชระหว่าง 5.8-6.0 มีสารอาหารรั่วไหลจากบาดแผล ปัจจัยหลักของการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผลไม้สดพร้อมบริโภค ได้แก่ เปอร์เซ็นต์พื้นที่ผิวบริเวณรอยตัด และความชื้นที่เพิ่มขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ การล้างฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ไม่ได้ผลเพียงพอ อัตราเมแทบอลิซึมของเนื้อเยื่อพืช สภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ (Ahvenainen, 1996; Laurila *et al.*, 2002; Rico *et al.*, 2007) ผลการศึกษาวิธีการหั่นชิ้นแคนตาลูปด้วยมีดที่คมเปรียบเทียบกับมีดทื่อ แล้วฆ่าจุลินทรีย์ที่ผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรต์ (NaOCl) ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 วินาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าชิ้นแคนตาลูปที่หั่นด้วยมีดทื่อมีการเจริญของจุลินทรีย์ และยีสต์เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นประมาณ 10 เท่า (Portela and Cantwell, 2001) ในการเปรียบเทียบการใช้สารฆ่าเชื้อกับผลมะม่วงพันธุ์ Keitt ก่อนการหั่นชิ้นพบว่า ผลมะม่วงที่จุ่มในสารละลายกรดเพอร์ออกซีแอซิติก (PA) ก่อนและหลังการหั่นชิ้น มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 1 cfu/g เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7-14 วัน (Narciso and Plotto, 2005) เช่นเดียวกับการหั่นชิ้นแครอท (Klaiber *et al.*, 2005) มันฝรั่งหั่นชิ้น (Beltran *et al.*, 2006) และมะเขือเทศหั่นชิ้น (Hong and Gross, 1998) ที่ผ่านการล้างด้วยสารฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9-14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลไม้สดพร้อมบริโภค

จุลินทรีย์ที่ตรวจพบว่าปนเปื้อนอยู่ในผักหรือผลไม้สด เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และปรสิต ซึ่งปนเปื้อนมาตั้งแต่ในแปลงปลูก ระหว่างการเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต การขนส่ง การวางจำหน่ายหรือแม้แต่ในบ้านผู้บริโภค (Beuchat and Ryu, 1997)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้สดพร้อมบริโภค

ผลไม้สดที่นำมาผลิตเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภคยังคงมีชีวิตอยู่ ดังนั้นเมื่อผ่านการปอกเปลือก ตัดแต่ง และหั่นชิ้น จะทำให้เกิดความเครียดทางกายภาพขึ้น (Watada *et al.*, 1996) และมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต่างๆ อย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางด้านสรีรวิทยา กายภาพ และเคมีนั้นมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องทั้งภายนอกและภายใน ได้แก่

1. คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

ไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจนแต่อย่างน้อยคุณภาพ และความเหมาะสมของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค ควรมีคุณภาพดี สะดวกในการล้าง การปอก และการหั่น สามารถพิจารณาตามเกณฑ์ความเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ พันธุ์ ระยะการสุก และฤดูการผลิต (Ahvenainen, 1996; Hodges and Toivonen, 2008; Watada and Qi, 1999) ผลการศึกษาเปรียบเทียบผลของพันธุ์สาลี่จำนวน 4 พันธุ์ ระยะการสุก และขนาดของผลต่อคุณภาพของสาลี่สดพร้อมบริโภค พบว่าสาลี่พันธุ์ Bartlett ที่นำมาผลิตเป็นสาลี่สดพร้อมบริโภคมีอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด ผลที่มีระยะการสุกโดยใช้ความแน่นเนื้อที่ 44-58 นิวตัน เป็นระยะที่เหมาะสำหรับการผลิตสาลี่สดพร้อมบริโภค และการเลือกผลสาลี่ที่มีขนาดใหญ่จะเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดน้อยกว่าผลที่มีขนาดเล็ก (Gorny *et al.*, 2000) และเมื่อศึกษาเปรียบเทียบแคนตาลูปที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อนกับฤดูหนาว พบว่าแคนตาลูปในฤดูร้อนมีปริมาณ TSS และอัตราการหายใจสูงกว่าในฤดูหนาว (Bai *et al.*, 2003)

2. ความเสียหายทางกายภาพ

บาดแผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เป็นผลให้ชิ้นผลไม้เกิดความเครียดซึ่งเป็นผลกระทบขั้นแรกต่อคุณภาพของผลิตผลสดพร้อมบริโภค ซึ่งระดับความเสียหายทางกายภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1 ความเสียหายจากการปอกและการหั่น ผักและผลไม้บางชนิด เช่น มันฝรั่ง แครอท และสาลี่จำเป็นต้องปอกเปลือกก่อนผลิตเป็นผักผลไม้สดพร้อมบริโภค โดยการหั่นชิ้นที่มีขนาดเล็กลงจะทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง (Ahvenainen, 1996; Hodges and Toivonen, 2008) เช่น มะละกอ (Rivera-Lopez *et al.*, 2005) ผักกาดหอม (Roura *et al.*, 2000) และชิ้นผลไม้ที่มีบาดแผลที่เกิดจากการหั่นโดยใช้มีดที่มีความคมจะมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ลดลง และมีการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าการหั่นโดยใช้มีดทื่อ (Portela and Cantwell, 2001)

2.2 การล้างทำความสะอาด การล้างผลิตผลก่อนการผลิตนอกจากจะเป็นการกำจัดเศษดินหรือทรายที่ติดมาด้วยแล้ว ยังเป็นการชะล้างเอาของเหลวที่ไหลออกจากเนื้อเยื่อบริเวณรอยตัด และป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (Ahvenainen, 1996; Laurila *et al.*, 2002) เช่น การล้างแครอทหั่นชิ้น (Klaiber *et al.*, 2005) การปฏิบัติควรระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากการล้างเพราะจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลไม้สดพร้อมบริโภคภายในบรรจุภัณฑ์ เช่นในการล้างผักกาดหอมห่อ (Baur *et al.*, 2005; Luo, 2007)

3. อุณหภูมิ

ระดับอุณหภูมิของผลิตผลระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลไม้สดหั่นชิ้นพร้อมบริโภคควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าผลิตผลที่ไม่ผ่านการแปรรูป ผลไม้สดพร้อมบริโภคส่วนมากสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่บางชนิดจะต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส (Watada *et al.*, 1996) เนื่องจากค่าอุณหภูมิสัมประสิทธิ์ (Q_{10}) ของปฏิกิริยาทางชีววิทยาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 3-4 องศาเซลเซียส หรืออาจสูงได้ถึงช่วง 7 องศาเซลเซียส (Schlimme, 1995) ตัวอย่างเช่น สับปะรดหั่นชิ้นสดสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หากต้องการเก็บรักษาได้เป็นเวลานานขึ้น 2 สัปดาห์ ควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภุมิ 0-2.2 องศาเซลเซียส (Marrero and Kader, 2006) นอกจากนี้อุณหภูมิในการเก็บรักษายังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ตัวอย่างเช่น ทุเรียนสดพร้อมบริโภคสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นาน 35 วัน หากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เนื้อจะอ่อนนิ่มลงภายใน 24 ชั่วโมง ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำตาลลดลง (Voon *et al.*, 2006)

การยืดอายุผลิตผลสดพร้อมบริโภค

หลักปฏิบัติในการยืดอายุผลไม้สดพร้อมบริโภคขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการผลิต และอายุการวางจำหน่ายที่ผู้ผลิตต้องการ (ตารางที่ 2.6) หากผลิตเพื่อจำหน่ายใน 1-2 วัน หลักการปฏิบัติจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่ยุ่งยากมาก หากต้องการยืดอายุการวางจำหน่ายให้นานขึ้น สามารถเลือกใช้วิธีการจัดการทางด้านเคมีหรือทางด้านกายภาพอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีการทางเคมี

1.1 สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ มีการใช้สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิดในการล้างวัตถุดิบ ได้แก่ สารประกอบโซเดียมและแคลเซียมไฮโพคลอไรต์ กรดเพอร์ออกซีแอซีติก ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ คลอรีนไดออกไซด์ แอซิดิไฟด์โซเดียมคลอไรต์ และโอโซน สารเหล่านี้สามารถช่วยยับยั้งการเจริญ และการแพร่กระจายของเชื้อราและแบคทีเรียได้ (Toivonen, 2005) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน 6 ชนิด คือน้ำ โซเดียมซัลเฟต โซเดียมไฮโพคลอไรต์ Tsunami® โอโซน และการใช้โอโซนร่วมกับ Tsunami® ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส และปริมาณจุลินทรีย์ในมันฝรั่งหั่นชิ้นก่อนเก็บรักษา พบว่าการใช้โอโซนร่วมกับ Tsunami® ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมจุลินทรีย์ แต่การใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว พบว่ายังมีการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา (Beltran *et al.*, 2005) ในการเลือกใช้สารฆ่าเชื้อให้มีประสิทธิภาพ และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคนั้น ควรศึกษาถึงระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อผลิตผลแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น การใช้สารประกอบคลอรีนกับผลิตผลสดพร้อมบริโภค ต้องใช้ที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ของคลอรีน แช่ไว้ไม่เกิน 5 นาที และมีค่าพีเอชในช่วง 6.0-7.5 (Watada and Qi, 1999) จะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ และชะล้างของเหลวที่ไหลออกมาจากเซลล์บริเวณรอยตัด

1.2 สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เพื่อลดกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) สารที่นิยมใช้คือ แอสคอร์เบต ซีสเตอีน (Gorny *et al.*, 2002) และกรดซิตริก (Ahvenainen, 1996; Toivonen, 2005) โดยกรดไอโซแอสคอร์เบต กรดแอสคอร์บิก และแอซีทิลซีสเตอีน สามารถชะลอการเปลี่ยนสีของเนื้อสับปะรดหั่นชิ้นได้ (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2004)

1.3 สารเพิ่มความแน่นเนื้อ สารที่นิยมใช้คือสารละลายของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียม ความเข้มข้น 1-3 เปอร์เซ็นต์ สามารถปรับปรุงความแน่นเนื้อของผลไม้สดพร้อมบริโภคได้ โดยไปชะลอการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ การจุ่มชิ้นแคนตาลูปลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือแคลเซียมแล็กเทตความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อได้อย่างชัดเจนเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานถึง 12 วัน (Luna-Guzman and Barrett, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 ความต้องการสำหรับการจัดการผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค[a]

Working principle	Demands for processing	Customers	Shelf life at 5°C (days)	Examples of suitable fruit and vegetables
Preparation today, consumption tomorrow	• Standard kitchen hygiene and tools • No heavy washing for peeled and shredded produce; potato is an exception • Packages can be returnable containers	Catering industry, restaurants, schools, industry	1–2	Most fruit and vegetables
Preparation today, the customer uses the product within 3–4 d	• Disinfection • Washing of peeled and shredded produce at least with water • Permeable packages; potato is an exception	Catering industry, restaurants, schools, industry	3–5	Carrot, cabbages, iceberg lettuce, potato, beetroot, acid fruit, berries
Products are also intended for retailing	• Good disinfection • Chlorine or acid washing for peeled and shredded produce • Permeable packages; potato is an exception • Additives	Retail shops, in addition to the customers listed above	5–7[b]	Carrot, Chinese cabbage, red cabbage, potato, beetroot, acid fruit, berries

[a] ที่มา: Ahvenainen, 1996

[b] หากต้องการอายุการวางจำหน่ายมากกว่า 14 วัน ต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1-2 องศาเซลเซียส

2. วิธีการทางกายภาพ

2.1 อุณหภูมิ การใช้ทั้งอุณหภูมิสูงและต่ำสามารถยืดอายุการเก็บรักษา และคงคุณภาพของผลิตผลได้ทั้งที่ยังไม่แปรรูป และที่ผ่านการแปรรูปแล้ว (Toivonen, 2005) การใช้อุณหภูมิสูงเป็นวิธีการเพื่อลดปริมาณของจุลินทรีย์ และเพิ่มปฏิกิริยาของเอนไซม์ในการป้องกันหรือการฆ่าจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนบนผิวที่ติดมาจากแปลงปลูก และควรใช้ระยะเวลาสั้นๆ เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผล (Rico *et al.*, 2007) สำหรับการเก็บรักษาผลไม้หั่นชิ้นสดพร้อมบริโภคควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าผลสด อุณหภูมิที่ต้องการสำหรับระหว่างขั้นตอนการผลิต การขนส่ง และการเก็บรักษาสำหรับผลไม้สดพร้อมบริโภค คือ 0-5 องศาเซลเซียส (Watada *et al.*, 1996) ตัวอย่างเช่น สับปะรดหั่นชิ้นเก็บรักษาได้นานถึง 14 วัน ที่อุณหภูมิ 0-2.2 องศาเซลเซียส (Marrero and Kader, 2005) ส่วนแครอทหั่นชิ้น (Rocha and Mota, 2005) สาลี่หั่นชิ้น (Corbo *et al.*, 2004) และเนื้อทุเรียน (Voon *et al.*, 2006) สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสำหรับเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ยังขึ้นกับชนิด และพันธุ์ของผลิตผลด้วย (Watada and Qi, 1999)

2.2 สภาพบรรยากาศ การศึกษาถึงผลของปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนต่อคุณภาพ และการเก็บรักษาผลิตผลสดพร้อมบริโภคเป็นเวลานานนับครึ่งศตวรรษ (Toivonen, 1999) เป็นที่ทราบดีว่าการลดปริมาณแก๊สออกซิเจนและ/หรือเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน ยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาของเอนไซม์ ลดความเสียหายทางสรีรวิทยา และช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) หากเก็บไว้ในสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำเกินไป อาจทำให้ผลิตผลเกิดกระบวนการหมักได้ เช่น ผลกีวี่หั่นชิ้น (Agar *et al.*, 1999) ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถยืดอายุการวางจำหน่ายได้ แต่อุณหภูมิยังคงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการยืดอายุการวางจำหน่ายผลไม้สดพร้อมบริโภค (Rattanapanone *et al*., 2001)

2.3 สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ การใช้สารเคลือบผิวจะช่วยปรับปรุงคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้สดพร้อมบริโภคได้ คือช่วยลดหรือป้องกันการสูญเสียน้ำ และดัดแปลงสภาพบรรยากาศซึ่งจะช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลได้ (Toivonen, 2005) ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ เช่น ไข โปรตีน กรดไขมัน ไคโตซาน และพอลิแซ็กคาไรด์ ตัวอย่างเช่น สารละลาย carboxymethylcellulose (CMC) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ หรือสารละลาย CMC ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับสารละลาย maltodextrin (CMM) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ CMC เคลือบชิ้นมะม่วง หรือใช้ร่วมกับ CMM สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านต่างๆ เช่น สี และความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงหั่นสุกชิ้นได้ อย่างไรก็ตาม คุณภาพของผลไม้ที่นำมาผลิตเป็นผลไม้สดพร้อมบริโภคจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษามากกว่าสารที่ใช้ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลไม้ (Plotto *et al*., 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การขนส่งและการจัดจำหน่าย

การขนส่งควรทำในตู้ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับผลไม้ชนิดนั้นๆ และควรมีบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการกระทบกระเทือนระหว่างการขนส่ง (Yildiz, 1994)