

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

#### 1. ลักษณะทั่วไปของมะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ผลเขตร้อนชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบประเทศอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ อินเดีย ไทย พม่า มาเลเซีย และอินโดนีเซีย (เฉลิมชัย, 2539) ปัจจุบันมะม่วงเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการแพร่กระจายพันธุ์ไปปลูกในหลายประเทศ ทั้งในภูมิภาคเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน โดยผู้ผลิตรายใหญ่ได้แก่ อินเดีย บราซิล ปากีสถาน เม็กซิโก ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ และจีน (บุญเลิศ, 2532) ในประเทศไทยมีมะม่วงอยู่หลายพันธุ์ ซึ่งแต่ละพันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป แต่หากจำแนกตามการนำไปรับประทานหรือการนำไปใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ มะม่วงรับประทานสุก มะม่วงรับประทานดิบ และมะม่วงแปรรูป (วิจิตร, 2529) โดยมะม่วงที่ส่งไปจำหน่ายต่างประเทศส่วนใหญ่เป็นประเภทมะม่วงรับประทานสุก ซึ่งพันธุ์ที่เป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศมีอยู่หลายพันธุ์ เช่น พันธุ์น้ำดอกไม้ หนังกกลางวัน แรด มหาชนก พิมเสน และทองคำ เป็นต้น (สิริวรรณ, 2547)

มะม่วงมีลำดับชั้นทางอนุกรมวิธานดังต่อไปนี้ (Mukherjee, 1997)

Class	Dicotyledonae
Sub-Class	Archichlamydeae
Order	Sapindales
Family	Anacardiaceae
Genus	<i>Mangifera</i>
Species	<i>Mangifera indica</i> Linn.

สำหรับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* cv. Nam Dok Mai) เป็นมะม่วงรับประทานสุกที่ปลูกกันมาก มีการเจริญเติบโตดี ใบใหญ่เป็นคลื่น ทรงพุ่มโปร่ง ออกดอกดก มีการติดผลปานกลางและให้ผลทุกปี ผลมีขนาดใหญ่ ผลอ่อนเกือบกลม ส่วนหัวของผลมีขนาดใหญ่ ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เนื้อมาก เมล็ดเล็ก และผิวบาง เมื่อดิบมีรสเปรี้ยว ผิวผลมีสีเขียวนวล เนื้อแน่นเมื่อสุก ผิวสีเหลือง เนื้อสีเหลือง ลักษณะของเนื้อละเอียด มีเสี้ยนค่อนข้างน้อย มีกลิ่นหอม รสหวาน

ความหวานประมาณ 17-19 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ (%Brix) นอกจากนี้มะม่วงสุกยังมีวิตามินเอในปริมาณที่ค่อนข้างสูง มะม่วงบางชนิดยังมีวิตามินซีสูงด้วย มีสารเบตา-แคโรทีน ( $\beta$ -carotene) แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และแร่ธาตุหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม กำมะถัน คลอรีน และไอโอดีน (กองโภชนาการ, 2530) จากการศึกษาของอรณพและคณะ (2532) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้อายุ 13-16 สัปดาห์ เมื่อปล่อยให้ผลสุกจะเป็นที่ยอมรับจากผู้ประเมินสูงสุด และใช้เวลาในการสุกประมาณ 9 วัน

## 2. สาเหตุของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางอย่าง ทำให้ผลผลิตเกิดการเสื่อมสภาพได้ เช่น การสูญเสียน้ำ ทำให้ผลผลิตเกิดการเหี่ยวและหดตัว (สุรพงษ์, 2529)

### 2.2 การเกิดบาดแผล

ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวอาจเกิดบาดแผลได้ง่าย เช่น เกิดรอยขีดข่วน และชอกช้ำ ซึ่งมีสาเหตุจากคน ของมีคมหรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว ภาชนะบรรจุที่ไม่เหมาะสมหรือแมลงกัดกิน เป็นต้น (สายชล, 2528)

### 2.3 โรคของมะม่วง

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตอาจเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อราหรือแบคทีเรีย ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้ ซึ่งความรุนแรงของโรคที่เข้าทำลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น ความแข็งแรงของผลผลิต การสุกของผลผลิตและการเกิดบาดแผล ซึ่งโรคของมะม่วงที่เป็นปัญหาสำคัญหลังการเก็บเกี่ยว คือ โรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อสาเหตุ คือ *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. (Bailey and Jerger, 1992)

## 3. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการสุกของผลมะม่วง

การเปลี่ยนแปลงของผลมะม่วงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อคุณภาพของผลมะม่วง เพราะผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะเข้าสู่กระบวนการสุกและเสื่อมตามอายุ โดยมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น การหายใจ การคายน้ำ การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ ความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อ การเกิดกลิ่นและรสชาติที่ต่างไปจากขณะที่ผลดิบ (สุรพงษ์, 2529; วิลาวัลย์, 2553) ดังตาราง 1

ตาราง 1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลมะม่วงดิบ สุก และเสื่อมตามอายุ

หัวข้อของการเปลี่ยนแปลง	ผลดิบ	ผลสุก	ผลเสื่อมตามอายุ
สารประกอบคาร์โบไฮเดรต	แป้ง	น้ำตาล	น้ำตาลลดลง
สีเปลือก	เขียว	เหลือง	เหลืองเข้ม
สีเนื้อ	ขาว	เหลือง	เหลืองเข้ม
เนื้อสัมผัส	แข็ง	อ่อนนุ่ม	และ
อัตราการหายใจ	ต่ำ	สูงขึ้น	ลดลง
อัตราการผลิตเอทิลีน	ต่ำ	สูงขึ้น	ลดลง
ปริมาณกรด	สูง	ต่ำ	ต่ำลง
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น	กลิ่นหอม	กลิ่นผิดปกติ
การเข้าทำลายของโรค	ไม่มี	เริ่มแสดงอาการ	ระบาดรุนแรง

ที่มา: ดัดแปลงจาก วิลาวลัย (2553)

การเปลี่ยนแปลงภายในผลมะม่วงจากช่วงดิบไปสุก เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยมีสภาพแวดล้อมรอบผลมะม่วงกระตุ้นให้เร็วขึ้น หรือในทางกลับกันอาจจะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงให้ช้าลง ปัจจัยสำคัญของสภาพแวดล้อมรอบผลมะม่วง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และการถ่ายเทอากาศ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เคมี และทางกายภาพ ที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผลมะม่วง ได้แก่

### 3.1 การหายใจและการผลิตเอทิลีน

มะม่วงเป็นผลมะม่วงประเภทบ่มให้สุกได้ (climacteric fruits) มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เด่นชัดมาก คือ มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นขณะที่ผลเริ่มสุก เรียกว่าการหายใจแบบ climacteric respiration (Krishnamurthy and Subramanyam, 1970) ในมะม่วงพบว่ามี การเพิ่มขึ้นของการหายใจก่อนที่จะมีการสุกของผล ซึ่งตรวจวัดได้ในรูปของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกมา หรือปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ไป ในแต่ละวันภายหลังการเก็บเกี่ยว Subramanyam *et al.* (1975) ได้จำแนกรูปแบบการหายใจของผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว โดยสามารถแบ่งช่วงการเกิด climacteric peak ออกได้เป็น 4 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 Pre-climacteric เป็นระยะที่มีการหายใจต่ำ ผิวผลมีสีเขียว และลักษณะเนื้อยังแข็ง

ระยะที่ 2 Climacteric rise ระยะนี้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ผิวผลยังคงมีสีเขียว และเนื้อยังแข็งอยู่ ช่วงเวลาดังแต่เก็บเกี่ยวผลจากต้นกระทั่งสิ้นสุดระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 2-5 วัน

ระยะที่ 3 Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ผลเริ่มนุ่ม ผิวผลเริ่มเปลี่ยนสี เริ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อย โดยทั่วไประยะนี้เกิดขึ้นประมาณวันที่ 6-10 ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว

ระยะที่ 4 Post-climacteric เป็นระยะที่อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างช้าๆ เกิดขึ้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน ผลมีผิวสีเหลือง เนื้อผลเริ่มนุ่มและมีกลิ่นหอม มะม่วงมีสภาพเหมาะสมที่สุดต่อการรับประทานผลสุก

การหายใจมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตผลและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวเป็นอย่างมาก ผลิตผลที่มีการหายใจสูงจะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น เช่น มะม่วงหนังกลางวันเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติและที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราการหายใจอยู่ในช่วง 120-150 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (ธรรมภรณ์, 2534) ส่วนในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกและเพิ่มสูงสุดในวันที่ 5 โดยมีค่าเท่ากับ 225 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว (เสาวภา, 2547) สอดคล้องกับการศึกษาของจาร์วัฒน์และศิริชัย (2545) พบว่าอัตราการหายใจสูงสุดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในวันที่ 6 มีค่าเท่ากับ 57.11 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยการหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาหารจะถูกแปรรูปให้เกิดเป็นพลังงานสำหรับการดำรงชีพ กระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่อาหารถูกออกซิไดส์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนออกซิเจนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาได้เป็นน้ำออกมา (จริงแท้, 2542) โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจ เช่น อายุและขนาดของพืช อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน เป็นต้น (สายชล, 2528)

การผลิตเอทิลีนระหว่างการสุก มะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่าระหว่าง 1-10 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีค่าระหว่าง 0.2-1.0 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส (Kader, 2000) จากการศึกษาอัตราการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าผลมะม่วงมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีค่าสูงสุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.5 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (สุกัญญา, 2539) เช่นเดียวกับการทดลองของเสาวภา (2547) ที่พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระยะแรกอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำแต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถึงจุดสูงสุดหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) นาน 4-5 วัน จากนั้นจะมีค่าลดลง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงกับผลไม้อื่นประเภท climacteric ชนิดอื่นๆ พบว่ามะม่วงมีรูปแบบการผลิตเอทิลีนคล้ายคลึงกับการหายใจมาก (Kader, 1985) Mitra

and Baldwin (1997) ได้สรุปว่าผลมะม่วงมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นหลังจากการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงสุด

### 3.2 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลิตผลสดต่างๆ มีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ และปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมีความชื้นสูงกว่าอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงสูญเสียออกสู่อากาศภายนอก การสูญเสียน้ำจะทำให้น้ำหนักและคุณภาพของผลิตผลลดลง โดยเฉพาะเนื้อสัมผัส (texture) (จริงแท้, 2542) ปัจจัยที่มีต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล มีทั้งปัจจัยภายใน ได้แก่ขนาดของผลิตผล (พื้นที่ผิว) ลักษณะของผลิตผล และcuticle เป็นต้น และปัจจัยภายนอก ได้แก่อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศ การเคลื่อนไหวของอากาศ เป็นต้น (วรภัทร, 2549) โดยพบว่า การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน มีการสูญเสียน้ำหนัก 13.41 เปอร์เซ็นต์ (ศศิธรและนิธิยา, 2546) เช่นเดียวกับที่เสาวภา (2547) รายงานว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่นานมากขึ้น

### 3.3 การเปลี่ยนสีเปลือกและสีเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลในระหว่างการสุก ที่เห็นได้ชัดเจน (Pantastico, 1975) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมะม่วง พบว่าเมื่อผลมีความแก่เพิ่มขึ้น สีเปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองมากขึ้นรวมทั้งสีเนื้อด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์และอาจมีการสร้างแคโรทีนอยด์ซึ่งมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เปลือกผลมะม่วงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (ศิวัชร, 2539) การเปลี่ยนแปลงสีของผลในมะม่วงแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกัน โดยในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อผลเข้าสู่การสุก สีเปลือกผลจะเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม (จริงแท้, 2550) เนื้อมะม่วงเมื่อสุกจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองเนื่องจากมีปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในเนื้อมะม่วงเพิ่มขึ้น (Pantastico, 1975) ในพันธุ์ Harumaris และ Katchamita สีเขียวของผิวเปลือกจะหมดไปและกลายเป็นสีเหลืองเมื่อผลสุกเต็มที่ (Lizada, 1993) ส่วนในพันธุ์ Kent พบว่าเมื่อผลเข้าสู่กระบวนการสุกที่เปลือกของผลจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเขียวมาเป็นสีเหลืองและสีแดงเมื่อผลสุกเต็มที่ (วารุณี, 2543) จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสีผล ในขณะที่ผลดิบและผลสุกในมะม่วงพันธุ์ต่างๆ พบว่าแตกต่างกัน โดยจากการศึกษาของดวงตรา (2526) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีอายุ 84-90 วัน มีปริมาณเบตาแคโรทีน 2,286 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักผลสด และเมื่อมะม่วงมีการสุกเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณเบตาแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเป็น 4,770 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักผลสด 100 กรัม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายและสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ซึ่งได้แก่ เอนไซม์ peroxidase และ chlorophyllase ตามลำดับ ในผลมะม่วงพันธุ์

น้ำดอกไม้และพันธุ์ทองคำ โดยเอนไซม์ chlorophyllase มีปริมาณลดลงแต่เอนไซม์ peroxidase มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงในระหว่างการสุกของผล (Ketsa *et al.*, 1999)

### 3.4 เนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงผนังเซลล์ระหว่างการสุกของผลไม้ทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อระหว่างการสุก พบว่าการอ่อนตัวของผลไม้เป็นผลจากการสูญเสียความตึงของเซลล์ การสลายตัวของแป้งและไขมัน และการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ (Tucker and Seymour, 1991) ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของเพคตินที่ละลายน้ำได้ (Roe and Bruemmer, 1981) โดยที่เอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดการอ่อนนุ่มของผลไม้มี 2 ชนิดคือ polygalacturonase (PG) และ pectin methylesterase (PME) เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์โดยเฉพาะสารประกอบเพคติน (pectin compounds) เปลี่ยนรูปจาก protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำไปเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ในระหว่างการสุกของผล (Brett and Waldron, 1990) การศึกษาของ Ueda *et al.* (2001) พบว่าปริมาณเพคตินในผลขึ้นอยู่กับระยะความแก่และระยะการสุกของผล โดยผลมะม่วงพันธุ์ Chin Hwang No.1 ที่มีอายุมากจะมีปริมาณเพคตินน้อยกว่าผลที่มีอายุน้อยกว่า ส่วนอีกสาเหตุหนึ่ง คือการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเกิดจากการสูญเสียน้ำผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ของผล ทำให้เกิดการเหี่ยวและอ่อนนุ่ม (สุรพงษ์, 2529)

### 3.5 กลิ่นและรสชาติ

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับรสชาติในผลมะม่วงก็คล้ายกับผลไม้ประเภท climacteric ทั่วไป คือปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะน้ำตาลมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดอินทรีย์ลดลงเนื่องจากกระบวนการแคแทบอลิซึม โดยในขณะที่ผลดิบจะมีแป้งสะสมอยู่ในผล แต่เมื่อผลสุกแป้งส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาลทำให้ผลไม้มีรสหวาน (ศิวพร, 2539) อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อาจลดลงเนื่องจากในผลิตภัณฑ์มีการหายใจตลอดเวลา ซึ่งจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหรือพลังงานส่วนใหญ่ ซึ่งน้ำตาลที่ใช้ไปในกระบวนการหายใจจะเป็นน้ำตาลกลูโคส (Biale, 1950) จากการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าเมื่อผลสุกมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้รสชาติของผลเปลี่ยนไป โดยเมื่อผลสุกจะมีรสหวานมากขึ้น แต่ความเปรี้ยวจากรดลดลงหรือไม่เปรี้ยวเลย (สุกัญญา, 2539) การเปลี่ยนแปลงกลิ่นในระหว่างการสุกของผล พบว่าโดยทั่วไปผลไม้แต่ละชนิดมีกลิ่นเฉพาะของผล เกิดจากสารระเหยซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น ชนิดและปริมาณของสารระเหยในแต่ละระยะของการเจริญเติบโตของผลแตกต่างกัน โดยปกติเมื่อผลสุกจะมีทั้งปริมาณและชนิดของสารระเหยมากขึ้น (จิ่งแท้, 2542) มีรายงานการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์

Jaffian, Wilard และ Parrot พบว่าสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเป็นสารระเหยจัดอยู่ในกลุ่ม terpenes เป็นกลุ่มหลักในมะม่วงทั้งสามพันธุ์ (Macleod and Pieris, 1984) ในผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso มีสารระเหยอยู่ถึง 152 ชนิด โดย 90 เปอร์เซ็นต์เป็นสารในกลุ่ม mono-terpene hydrocarbon และ sesquiterpene hydrocarbon (Idstein and Schreier, 1985) และในมะม่วงพันธุ์ Kensington พบว่ามีสารระเหยอยู่ 58 ชนิด โดยกลุ่มหลักที่มีอยู่มากที่สุดคือสารกลุ่ม mono-terpene hydrocarbon (Macleod *et al.*, 1988)

### 3.6 การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต

สารประกอบคาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบที่สำคัญในผลไม้ โดยอยู่ในรูปของอาหารสะสม เช่น แป้ง และน้ำตาล โดยในผลไม้ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก เช่น ทูเรียน กล้วย และมะม่วง มักพบว่าเมื่อผลมะม่วงเริ่มสุกจะมีแป้งลดลงพร้อมกับมีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการไฮโดรไลซิสของแป้งและน้ำตาล (Spurr, 1970; Mattoo *et al.*, 1975) ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ได้แก่ เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส และเอนไซม์ฟอสฟอริเลส (phosphorylase) ทำให้โมเลกุลแป้งแตกตัวออกจากกันตรงตำแหน่ง  $\alpha$ -1,4 glucosidic ให้เป็นน้ำตาลซูโครส จากนั้นน้ำตาลซูโครสจะถูกไฮโดรไลต์ต่อไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทส โดยมีเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Goodwin and Mercer, 1983) โดยน้ำตาลที่พบในมะม่วงส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโทส และซูโครส มีรายงานว่ามะม่วงสุกมีปริมาณน้ำตาลซูโครสมากที่สุด (Shashirekha and Patwardhan, 1976) ในมะม่วงพันธุ์ Keitt มีน้ำตาลซูโครสอยู่ถึง 57 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำตาลฟรุกโทสและกลูโคสพบว่ามีอยู่ 28 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Medlicott and Thompson, 1985) โดยรายงานของ Vazquez-Salinas and Lakshminarayana (1985) พบว่ามะม่วงพันธุ์ Florida เมื่อสุกจะมีปริมาณกลูโคสและฟรุกโทสเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลซูโครส เมื่อวัดปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง refractometer ค่าที่ได้อาจเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลมะม่วงสูญเสียน้ำไประหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น (จริงแท้, 2542) เช่นเดียวกับธีราพร (2536) พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้หลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าเท่ากับ 9.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 17.23 เปอร์เซ็นต์ และเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อสุกมากขึ้น

### 3.7 ปริมาณกรด

ขั้นตอนต่างๆ จากกระบวนการหายใจประกอบด้วยโมเลกุลของกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดไพรูวิก และกรดอื่นๆ ดังเห็นได้จากวัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle) แต่กรดที่พบในปริมาณมากในผักและผลไม้มักจะอยู่ในรูปกรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) เป็นต้น โดยกรดซิตริกซึ่งพบมากในผลมะม่วงเกิดจาก acetyl coA รวมกับกรดออกซาโลอะซิติก (oxaloacetic acid) จนได้

กรดซิตริก จากนั้นกรดซิตริกจะเปลี่ยนไปเป็นสารตัวอื่นๆ ในวัฏจักรเครปส์ โดยกรดมักถูกเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลในปริมาณมาก ในช่วงผลอ่อนจะมีการสะสมของกรดมาก เนื่องจากการสะสมเหล่านี้อาจได้มาจากสารตัวกลางในวัฏจักรเครปส์ การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนและการเคลื่อนย้ายกรดอินทรีย์จากส่วนต่างๆ ของพืช (Kays, 1991) ในมะม่วงพันธุ์เคียทท์ (Keitt) จะมีการลดลงเมื่อมะม่วงแก่เพิ่มขึ้น โดยกรดซิตริกเป็นกรดหลักที่มีปริมาณลดลงมากที่สุด และพบว่ากรดมาลิกมีปริมาณน้อยในช่วงผลแก่ แต่มีปริมาณลดลงมากในช่วงผลสุก (Medlicott และ Thompson, 1985) ส่วนในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าขณะผลดิบมีค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 1.3 กรัมต่อ 100 กรัม และลดลงขณะผลสุกมีค่า 1.1 กรัมต่อ 100 กรัม (ดวงตรา, 2526) เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้นในช่วง 15 วันแรก แต่หลังจากนั้นปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงเรื่อยๆ กระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษานาน 30 วัน (Kaewchana *et al.*, 2003)

### 3.8 การประเมินคุณภาพโดยการรับประทาน

เป็นการประเมินคุณภาพโดยการสังเกตลักษณะปรากฏ เช่น กลิ่น และรสชาติ สีเนื้อ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวัด (Rico *et al.*, 2007) โดยอรธรรพและคณะ (2533) ได้ทำการประเมินคุณภาพและรสชาติด้วยการรับประทานของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.01 แต่ไม่เกิน 1.03 และรอให้ผลสุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีคะแนนสูงสุดหลังจากผลเริ่มนิ่มได้ 5 วันซึ่งตรงกับระยะที่มีปริมาณกรดแอสคอบิกสูงสุด ดังนั้นควรบริโภคมะม่วงหลังจากผลเริ่มสุก 5 วัน เพื่อให้ได้คุณค่าและรสชาติที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของธีราพร (2536) พบว่าค่ายอมรับทั่วไปและรสชาติสูงสุดเท่ากับ 7.5 (ความชอบปานกลาง-ชอบมาก) และค่าลักษณะเนื้อเท่ากับ 2.7 (เนื้อนิ่มปานกลาง) หลังจากผลนิ่มแล้ว 5 วัน

## 4. บทบาทที่สำคัญของก๊าซต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

### 4.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในบรรยากาศมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 เปอร์เซ็นต์ แต่ภายในผลไม้จะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ อัตราการผ่านเข้าออกของก๊าซ และองค์ประกอบของบรรยากาศภายใน ในกรณีที่คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงมาก จะมีบทบาทที่สำคัญ คือ

- ชะลออัตราการหายใจของผล

โดยที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้มีคุณสมบัติขัดขวางการทำงานของเอทิลีน โดยเชื่อว่าคาร์บอนไดออกไซด์จะไปแย่งที่ active site ของเอทิลีน (จริงแท้, 2542)

โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจของผลิตผลจะลดลง ทำให้อายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้เพิ่มขึ้น (วัตินา, 2540) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช การชะลออัตราการหายใจได้ผลน้อยเมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยเกินไป ในขณะที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปอาจทำให้เซลล์ของพืชเป็นอันตราย อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศรอบๆ ผลไม้จาก 0.03 เป็น 3-10 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งหรือชะลอกระบวนการสุกของผลไม้ได้ในผลไม้บางชนิด ถ้ามีคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่านี้จะเกิดการสุกที่มีลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยา (จิรา, 2533)

- ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติเป็น bacteriostatic หรือ fungistatic คือสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ไม่สามารถทำลายหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยจากรายงานของงามทิพย์ (2537) ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี ก็ต่อเมื่อเชื้อจุลินทรีย์เหล่านั้นอยู่ในช่วงการเตรียมพร้อมเพื่อแบ่งตัว เป็นผลให้การแบ่งตัวเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้ช้าลง

#### 4.2 ก๊าซออกซิเจน

ในบรรยากาศมีก๊าซออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณออกซิเจนในอากาศมีผลต่อการหายใจ การสร้างเอทิลินและกระบวนการออกซิเดชันอื่นๆ ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง การลดปริมาณออกซิเจนลงจะเป็นการลดอัตราการหายใจ การสร้างเอทิลิน และกระบวนการออกซิเดชันอื่นๆ ลงด้วย โดย Hatton and Reeder (1967) ได้เก็บมะม่วงพันธุ์ Keitt ในสภาพปริมาณออกซิเจน 5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน

ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อคุณภาพของผักและผลไม้มาก เนื่องจากผลิตผลเมื่อหายใจจะมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา โดยอัตราการหายใจจะมีความสัมพันธ์กับอัตราความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ต้องมีระดับที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดอัตราการหายใจที่ต่ำที่สุด แต่ต้องไม่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียแก่ผลิตผลสดนั้นๆ (Zagory and Kader, 1988) ความเข้มข้นหรือปริมาณก๊าซนี้อาจควบคุมโดยการใช้อากาศที่บรรจุ เช่น พลาสติกที่มีความสามารถในการยอมให้ก๊าซต่างๆ ซึมผ่านในอัตราที่แตกต่างกันโดยทำการเลือกชนิดฟิล์มให้เหมาะสม (วัตินา, 2540)

### 4.3 ก๊าซเอทิลีน

เอทิลีน (ethylene) มีสูตร โครงสร้าง  $C_2H_4$  ( $H_2C=CH_2$ ) เป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่มีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน ติดไฟและเกิดระเบิดได้ในช่วงความเข้มข้น 3.2-32 เปอร์เซ็นต์ เอทิลีนสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้างขวางต่อการพัฒนาการของพืช โดยทั่วไปเอทิลีนจะไปเร่งการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ (จริงแท้, 2542) และเอทิลีนยังมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของพืชค่อนข้างมาก แม้จะมีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ppm ก็สามารถกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในพืช และยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงสีผิวและการอ่อนตัวของผล กระบวนการสุกจะเกิดไม่ได้หากไม่มีเอทิลีนและระหว่างการสุกจำเป็นต้องมีเอทิลีน มิฉะนั้นการสุกจะเกิดไม่สมบูรณ์ (วุฒิรัตน์, 2550)

การตอบสนองของผลไม้ต่อเอทิลีน พบว่าเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่มีการตอบสนองไม่ดีเท่าเนื้อเยื่อที่บริบูรณ์แล้ว (จริงแท้, 2542) ก๊าซเอทิลีนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นภายในผลไม้ขณะที่ผลกำลังสุกและเป็นฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น ก๊าซเอทิลีนจึงได้ชื่อว่า ripening hormone หรือ ripening gas จากการศึกษาพบว่า ในระยะผลแก่จัดนั้นจะมีการสร้างก๊าซเอทิลีนภายในผลอัตราที่ต่ำมากและจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดียวกันกับช่วงอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นระยะที่กระบวนการสุกจะเริ่มสร้างก๊าซเอทิลีนจะถึงจุดสูงสุดและจะคงที่อยู่ระยะหนึ่งแล้วค่อยๆ ลดลง (จิรา, 2533)

ผลไม้มีลักษณะการผลิตเอทิลีนและปริมาณความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลมีความสัมพันธ์กับอัตราการหายใจ ผลไม้ประเภท climacteric มีการผลิตและมีความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ จนกระทั่งเมื่อผลไม้เริ่มสุกการผลิตเอทิลีนจึงเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในก็สูงขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นของปริมาณการผลิตเอทิลีนอาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังหรือพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนจะซึมผ่านจากภายในเซลล์สู่บรรยากาศข้างนอกของผลไม้ (จริงแท้, 2550)

#### ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตและการทำงานของเอทิลีน (จริงแท้, 2542)

##### 1. ชนิดหรือพันธุ์ของพืช

อัตราการผลิตเอทิลีนในพืชต่างชนิดนั้นแตกต่างกันไป แม้กระทั่งในพืชชนิดเดียวกันการผลิตเอทิลีนก็อาจแตกต่างกันมาก เช่น ในผลทุเรียนพันธุ์ชะนีซึ่งสุกค่อนข้างเร็ว มีช่วงเวลาในการรับประทานได้ค่อนข้างสั้น ผลิตเอทิลีนสูงสุดถึง 26 ไมโครลิตรต่อกรัมต่อชั่วโมง ขณะพันธุ์หมอนทองซึ่งสุก

ช้าและมีช่วงในการรับประทุนานกว่าพันธุ์นี้มีอัตราการผลิตเอทิลีนเพียง 9.5 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง

## 2. อายุการเก็บเกี่ยวทางสรีรวิทยา

ผลไม้ประเภท climacteric จะผลิตเอทิลีนสูงมากเมื่อสุก แต่จะผลิตในปริมาณต่ำเมื่อยังอ่อนอยู่นอกจากนั้นการตอบสนองต่อเอทิลีนยังขึ้นอยู่กับอายุด้วย ดังนั้นความสามารถในการเก็บรักษาของผลไม้จึงขึ้นอยู่กับอายุการเก็บเกี่ยวทางสรีรวิทยา

## 3. อุณหภูมิ

การผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 0 ถึง 25 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่าจะทำให้การผลิตตลอดจนการทำงานของเอทิลีนลดลงหรือหมดไปเลยก็ได้ ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิต่ำ อาจทำให้ผลไม้หรือผักในเขตร้อนเป็นอันตรายที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) และก่อให้เกิดการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นได้

## 4. ปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศ

เนื่องจากลำดับสุดท้ายของการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชต้องใช้ ออกซิเจน ดังนั้นการลดปริมาณออกซิเจนจะยับยั้งหรือลดการผลิตเอทิลีนลง ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้เอทิลีนมีอิทธิพลมากน้อยเพียงไร

## 5. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าปริมาณในบรรยากาศปกติ อาจทำให้การผลิตเอทิลีนในพืชลดลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดพืช อุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง อย่างไรก็ตามคาร์บอนไดออกไซด์จะขัดขวางการทำงานของเอทิลีน โดยแย่งที่เอทิลีนในการจับตัวกับตัวรับ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการยืดอายุผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

## 6. ปริมาณเอทิลีนในบรรยากาศ

ก๊าซเอทิลีนสามารถกระตุ้นให้ผลไม้ผลิตเอทิลีนในปริมาณสูงขึ้นได้เร็วขึ้นกว่าปกติ และหากให้เอทิลีนก่อนกระบวนการสุกจะเริ่มขึ้น ในการเก็บรักษาผลิตผลจึงต้องมีการกำจัดเอทิลีนออกไป

## 7. ปริมาณไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ

ไฮโดรคาร์บอน เช่น โพรไพลีน (propylene) อะเซทิลีน ( $C_2H_2$ ) รวมทั้งคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฯลฯ สามารถกระตุ้นให้ผลไม้ผลิตเอทิลีนได้ และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชได้เช่นเดียวกับเอทิลีน ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของสารเหล่านี้คล้ายกับเอทิลีน แต่ความเข้มข้นที่ต้อง

ใช้ให้ได้ผลเท่าเอทิลีนจะต้องสูงกว่ามาก ซึ่งอะเซทิลีนเป็นก๊าซที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ทดแทนเอทิลีนในการบ่มผลไม้ได้เนื่องจากราคาถูกกว่า แต่อะเซทิลีนมีข้อเสียที่มีกลิ่นซึ่งอาจติดไปกับผลไม้ได้

8. ความเครียดต่างๆ ฮอร์โมนพืช และสารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน การเกิดบาดแผล การเกิดโรค การรวมคว้น การฉายรังสี การขาดน้ำ ตลอดจนการอยู่ในสภาพน้ำขัง ล้วนสามารถให้เกิดการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นได้

### 5. การกำจัดเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

การกำจัดเอทิลีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

5.1 การระบายอากาศ วิธีที่ง่ายที่สุดได้แก่ การจัดให้มีการระบายอากาศออกจากห้องเก็บรักษา โดยใช้หลักการอากาศใหม่แทนอากาศเก่า เช่นการระบายอากาศออกจากห้องเก็บรักษาในปริมาณเท่ากับ 1 ห้องทุกๆ 1 ชั่วโมง จะช่วยลดปริมาณเอทิลีนลงได้เพียงพอ (มลิวรรณ์และแสงแก้ว, 2550)

5.2 การใช้สารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorbant)

- การใช้ด่างทับทิม ( $\text{KMnO}_4$ ) สามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้แมงกานีสไดออกไซด์ ซึ่งมีสีน้ำตาล รวมทั้งได้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ตามสมการดังนี้



หลักสำคัญในการใช้ด่างทับทิม คือวัสดุที่ใช้เป็นที่ยึดจับของสารละลายด่างทับทิมต้องมีพื้นที่สัมผัสมาก วัสดุที่เหมาะสมได้แก่ ซอคลิก ซีโลไลท์ (celite) เวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) และเพอร์ไลท์ (perlite) หรือก้อนอิฐหุบเป็นก้อนเล็กๆ เป็นต้น (มลิวรรณ์และแสงแก้ว, 2550) การใช้ด่างทับทิมให้ได้ผลจำเป็นต้องจัดให้มีด่างทับทิมกระจายอยู่ในภาชนะบรรจุผลิตผลให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ส่วนในกรณีห้องเก็บรักษานั้นอาจใช้วิธีดูดอากาศในห้องให้ผ่านไปยังวัสดุที่เคลือบด้วยด่างทับทิม จึงจะเห็นผลที่ชัดเจนตัวอย่างงานทดลองของพิชญาและคณะ (2551) ศึกษาสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ดินสอพองผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 2:1 และบรรจุในซองที่ทำจากกระดาษพหุหุ้มด้วยพลาสติกชนิด OPP เจาะรู สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จาก 3 วัน เป็น 12 วัน ซึ่งได้ผลดีเช่นเดียวกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า

การใช้ด่างทับทิมมักมีปัญหาในเรื่องปริมาณวัสดุที่ใช้มีปริมาณมาก ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งมาก และอาจก่อให้เกิดมลพิษขึ้นได้จากแมงกานีสที่เป็นโลหะหนักอย่างหนึ่ง

- การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) สามารถใช้ดูดซับเอทิลีนได้ดีพอสมควร และถ้าใช้โบรมีน (bromine) เคลือบด้วยจะทำงานได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นการผลิตฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีน

โดยคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลสจากฟางข้าว และเติมสารดูดซับเอทิลีนสองชนิด คือถ่านกัมมันต์ และ สารซีโอไลต์ ซึ่งเคลือบผิวกล่องที่บรรจุผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ 24-27 วัน ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์  $90 \pm 5$  เปอร์เซ็นต์ (สุพรรณิและคณะ, 2554) แต่ค่าใช้จ่ายสำหรับวิธีนี้แพงกว่าการใช้ค้างทับทิมจึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก

### 5.3 การใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

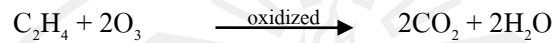
- สารยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน (ethylene biosynthesis inhibitor) ได้แก่ AOA (aminoxy acetic acid) และ AVG (L-2-amino-4(2-aminoethoxy)-trans-3-butenoic acid) ซึ่งการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ของเอทิลีนโดยใช้ AOA และ AVG พบว่ามีการทดลองเฉพาะบางพืชเท่านั้น เช่น การพ่น AVG ก่อนการเก็บเกี่ยวแอปเปิ้ลจะสามารถชะลอการสุกได้ การยับยั้งการสุกของสาลี่ และการยืดอายุการปักแจกันของดอกไม้บางชนิด เป็นต้น การยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนในช่วง SAM เปลี่ยนไปเป็น ACC หรือการใช้โคบอลต์ ( $Co^{2+}$ ) ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase (Lau and Yang, 1976) เอทิลีนจึงไม่สามารถสังเคราะห์ได้ (Abeles *et al.*, 1992)

- สารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน (ethylene action inhibitors) ได้แก่ สารพวก cyclic olefin บางชนิด เช่น 2,5-norbornadiene ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ แต่ต้องให้อย่างต่อเนื่องจึงจะมีประสิทธิภาพดี และความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนสัมพันธ์กับความสามารถในการจับกับ  $Ag^+$  และการมีวงแหวนเป็นองค์ประกอบของสารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เช่น cis-butene และ cyclopentene (Sisler and Yang, 1984) อีกทั้งสารประกอบพวก heterocyclic และ cyclopropene บางตัวสามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และอีกหลายชนิดไม่สามารถยับยั้งการทำงานได้ (Sisler and Serek, 1997)

นอกจากนี้ยังมีสารอื่นที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในระดับ receptor ได้แก่ สาร silver thiosulphate (STS) จัดเป็นตัวยับยั้งที่มีประสิทธิภาพ เป็นสารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมดอกไม้ในปัจจุบัน ซึ่งข้อจำกัดของ silver คือทำให้เกิดของเสียที่กำจัดยากและเป็นอันตราย (Sisler *et al.*, 1999) และสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) ปัจจุบันพบว่ามีการใช้สาร 1-MCP ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่ม cyclopropene มีโครงสร้าง cyclic olefin ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในผลผลิตหลายชนิดทั้งในไม้ดอกไม้และผลไม้สด ในระยะแรกมีการนำ 1-MCP มาใช้ในการยืดอายุการปักแจกันของดอกไม้ที่มีความไว (sensitive) ต่อเอทิลีน เช่น คาร์เนชัน (Sisler *et al.*, 1996) แอปเปิ้ล (Fan *et al.*, 1999) และกล้วย (Golding *et al.*, 1998) อีกทั้งยังมีรายงานของกันยา (2547) ใช้สาร 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 ppb รมผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นเวลา 18 ชั่วโมง สามารถชะลอการสุกได้นาน 9.6 วัน ในขณะที่ผลที่ไม่ได้รมสารจะสุกภายใน 7.8 วัน เนื่องจาก 1-MCP ไปยับยั้งการทำงาน

ของเอทิลีน โดยไปแย่งจับกับตัวรับของเอทิลีน ทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ และเมื่อผลสุกคุณภาพของผลสุกไม่แตกต่างจากผลที่ไม่ได้รมสาร

5.4 การใช้โอโซน (O<sub>3</sub>) โอโซนสามารถออกซิไดส์โมเลกุลของเอทิลีนได้เป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (ดังสมการ) โดยปราศจากมลพิษใดๆ จึงเป็นวิธีที่ค่อนข้างปลอดภัย



โดย Aguayo *et al.* (2006) ได้ศึกษาการใช้โอโซนในผลมะเขือเทศผลสดและมะเขือเทศหั่นชิ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.05-1 มิลลิโมลต่อโมล เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าผลมะเขือเทศทั้งผลสดและหั่นชิ้นในกรรมวิธีที่ใช้โอโซนมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยโอโซนสามารถกำจัดเอทิลีนระหว่างการเก็บรักษา จึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น สอดคล้องกับการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองหลังจากได้รับโอโซนเป็นเวลา 10 นาที ทั้งที่อุณหภูมิ 13 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถควบคุมปริมาณเอทิลีน และชะลอการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจได้ (พรพรรณ, 2554)

สำหรับโอโซนนั้นอาจถูกกระตุ้นให้มีการสร้างขึ้นได้โดยใช้แสงอัลตราไวโอเลตกระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนในบรรยากาศให้เปลี่ยนโอโซน โอโซนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตรวมทั้งผักและผลไม้ ดังนั้นการใช้โอโซนจึงต้องกำจัดโอโซน ส่วนที่เหลือจากการออกซิไดส์เอทิลีนออกก่อนปล่อยสู่บรรยากาศหรือปล่อยกลับเข้าไปในห้องเก็บรักษา สำหรับการกำจัดโอโซนนั้น อาจทำได้โดยการใช้แสงอัลตราไวโอเลตเช่นเดียวกัน แต่คนละช่วงความยาวคลื่น หรือผ่านโอโซนไปบนเหล็กที่ขึ้นสนิม จะทำปฏิกิริยาได้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (จริงแท้, 2542)

5.5 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ในระบบนี้อากาศที่มีเอทิลีนจะถูกผ่านไปยังตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกกระตุ้นด้วยแสง ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก เอทิลีนจะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนได้เป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (Park *et al.*, 1999)

อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการต่างๆ ข้างต้น เพื่อยับยั้งการทำงานของเอทิลีนบางวิธีอาจไม่เหมาะแก่การนำมาใช้ เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการ เช่น 2,5-norbornadiene (2,5-NBD) มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน แต่มีกลิ่นฉุนและมีฤทธิ์กัดกร่อนจึงไม่เหมาะในการนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์สด (Hyodo *et al.*, 2003) หรือการใช้โอโซน จะต้องมีเครื่องกำเนิดโอโซน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง และต้องหาวิธีกำจัดโอโซนที่เหลืออยู่ ดังนั้นการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์จึงอาจเป็นแนวทางใหม่ที่ที่น่าสนใจ และเป็นวิธีที่มีผลไปกำจัดเอทิลีนที่ผลไม้สร้างขึ้นมาได้โดยตรง

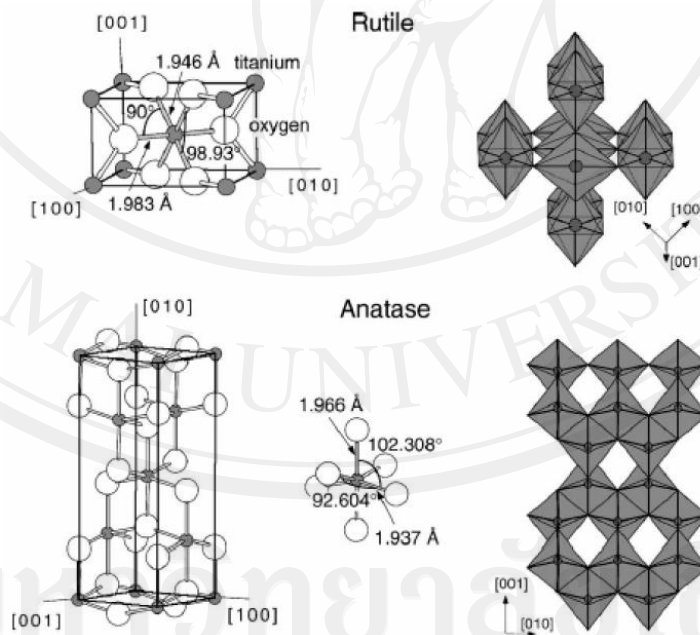
6. ไทเทเนียมไดออกไซด์

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide;  $TiO_2$ ) แบ่งตามลักษณะ โครงสร้างแบบผลึกแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ รูไทล์ (rutile) และอนาเทส (anatase) ส่วนที่จำหน่ายทั่วไปจะเป็นแบบผง (ภาพ 1) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 1 ลักษณะแร่ผลึกรูไทล์และอนาเทส กับผงไทเทเนียมไดออกไซด์

ที่มา : WebExhibits (1999)



ภาพ 2 โครงสร้างของรูไทล์และอนาเทส

ที่มา: Diebold (2003)

ชื่อที่ใช้ทางการค้า ได้แก่ไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือไทเทนิคแอนไฮไดรด์ (titanic anhydried) มักใช้ในอุตสาหกรรมสีทาบ้านและการบำบัดน้ำเสีย  $TiO_2$  ที่นิยมใช้กันผลิตโดยบริษัท

ในประเทศเยอรมันคือ Degussa P25 (ประกอบด้วย Anatase 70 เปอร์เซ็นต์ และ Rutile 30 เปอร์เซ็นต์) (Benedix *et al.*, 2000) มีสีขาวสว่าง ทึบ มีความคงตัวไม่เปลี่ยนรูปเมื่อเกิดปฏิกิริยา ไม่เสียคุณสมบัติไปมากเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (De Lasa *et al.*, 1992) มีการกัดกร่อนน้อยมาก และราคาถูกกว่าคะตะลิสต์ตัวอื่นๆ ไม่เป็นพิษ มีความเสถียรสูง และมีความสามารถในการละลายต่ำ (Bahnmann *et al.*, 1997; Sobana *et al.*, 2006; Ye *et al.*, 2009) โดยลักษณะสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของ TiO<sub>2</sub> แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 สมบัติทั่วไปทางกายภาพและเชิงกลของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>)

คุณสมบัติ	รายละเอียด
สถานะภาพ สี	ของแข็ง สีขาว
ความพรุน	0 %
Modulus of rupture	140 MPa
กำลังแรงกด	680 MPa
Poisson's ratio	0.27
Fracture toughness	3.2 Mpa.m <sup>-1/2</sup>
Shear modulus	90 GPa
Modulus of elasticity	230 GPa
Microhardness (HV 0.5)	880
ค่าความต้านทาน (resistivity, 25 °C)	1012 ohm.cm
ค่าความต้านทาน (resistivity, 700 °C)	2.5x10 <sup>4</sup> ohm.cm
Dielectric constant (1 MHz)	85
Dissipation factor (1 MHz)	5x10 <sup>-4</sup>
Dielectric strength	4 kVmm <sup>-1</sup>
Thermal expansion (RT-1000 °C)	9 x 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity (25 °C)	11.7 WmK <sup>-1</sup>
ด้านความปลอดภัย (safety)	
- กิน (ingestion)	อันตรายต่ำจากการรับประทานโดยมิได้ตั้งใจ
- สูดดม (inhalation)	อันตรายต่ำ
- ผิวหนัง (skin)	ทำให้คัน อันตรายในระยะยาว
- นัยน์ตา (eyes)	อันตรายต่ำ

ที่มา: เสรีชัย (2548)

สารเร่งปฏิกิริยาค้ำแสง (photocatalyst) เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet; UV) โดยทำหน้าที่เป็นตัวช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยที่ตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง สาร  $\text{TiO}_2$  เป็นหนึ่งในสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารเร่งปฏิกิริยาค้ำแสงได้ เมื่อสาร  $\text{TiO}_2$  ดูดซับรังสี UV จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งปฏิกิริยานี้ทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (volatile organic compounds) และสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ เปลี่ยนรูปไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำที่อุณหภูมิห้อง (สูดาร์ตัน, 2547; สุเมธ, 2550)

### ประโยชน์ตามการใช้งานของการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )

สารประกอบ  $\text{TiO}_2$  เป็นสารเคมีที่อาจกล่าวได้ว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของคนเราอยู่ไม่น้อย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เด่นอยู่หลายประการ ทำให้  $\text{TiO}_2$  ถูกนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอุปโภคและบริโภคที่ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย และได้รับการยอมรับจาก FDA ของสหรัฐอเมริกา (The American Food and Drug Administration) ซึ่งอนุญาตให้ใช้ได้กับอาหาร เวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร โดยสุเมธ (2550) ได้ยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

#### 1. ที่อยู่อาศัย

กำจัดสารที่มีกลิ่นเหม็นและมีพิษ เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์และสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ อีกทั้งยังช่วยกำจัดกลิ่นขยะ กลิ่นในตู้เย็น หรือตู้เก็บรองเท้า และกำจัดเชื้อราภายในห้องได้

#### 2. สถานที่ทำงาน

กำจัดกลิ่นในสถานที่สุขบุหรืและป้องกันคราบสกปรกจากนิโคติน อีกทั้งยังกำจัดกลิ่นในห้องน้ำ

#### 3. โรงพยาบาล

กำจัดกลิ่นและเชื้อโรครภายในห้อง กำจัดเชื้อแบคทีเรียและไวรัส นอกจากนี้ยังกำจัดเชื้อโรคต่างๆ ในห้องผ่าตัดหรือห้องปลอดเชื้อ

#### 4. สถานที่สาธารณะและสภาพแวดล้อม

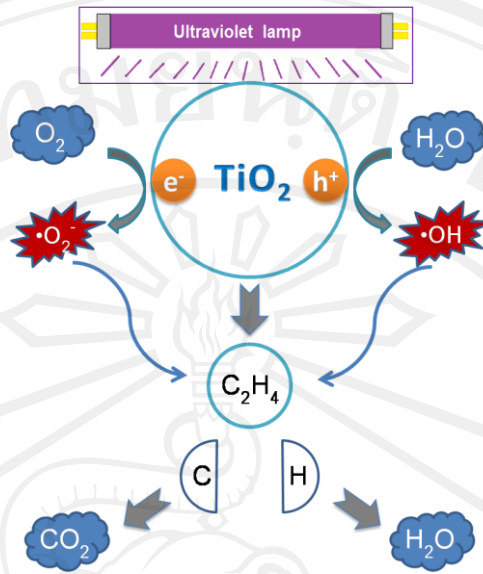
กำจัดก๊าซพิษต่างๆ ในบรรยากาศ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น ช่วยป้องกันคราบสกปรก หรือเชื้อราที่เกาะตามราวจับ อุโมงค์ ผนังเก็บเสียงตามทางด่วน ป้ายประกาศ โคมไฟ และสัญญาณไฟตามท้องถนนรวมทั้งผนังภายนอกและภายในอาคาร

## 5. อื่นๆ

รักษาความสดของผัก ผลไม้และเนื้อสัตว์ และยังช่วยรักษาคุณภาพน้ำในอ่างอาบน้ำหรือสระว่ายน้ำ โดยสารโฟโตแคตาไลสต์จะช่วยกำจัดพวกเชื้อโรค และตะไคร่น้ำ สามารถกำจัดกลิ่นของสัตว์เลี้ยงและป้องกันการติดเชื้อในสัตว์ อีกทั้งยังใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสีกระดาษ พลาสติก ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ เซรามิก เส้นใยไนลอน หมึกพิมพ์ อุปกรณ์สุขภัณฑ์และเครื่องสำอาง ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่มีส่วนผสมของ  $\text{TiO}_2$  เป็นการเพิ่มคุณภาพ (Davis, 1982) ประเทศไทยต้องการ  $\text{TiO}_2$  ประมาณ 20,000 ตันต่อปี เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการผลิตสีและกระดาษ ในขณะที่กลุ่มประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Association of South East Asian Nations; ASEAN) มีแนวโน้มต้องการ  $\text{TiO}_2$  สูงขึ้นถึงประมาณ 98,000 ตันต่อปีในปี 2538 อย่างไรก็ตามประเทศไทยก็ยังอยู่ในฐานะที่ต้องพึ่งพาการสั่งซื้อซึ่งน้ำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่สั่งซื้อมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และยุโรป (บัณฑิตวิชาติและคณะ, 2554)

## 7. หลักการการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการสลายตัวของเอทิลีน

ไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลตหรือแสง UV ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ซึ่งมีผลทำให้โมเลกุลน้ำและออกซิเจนในอากาศแตกตัวเกิดอนุมูลอิสระ hydroxyl radical ( $\cdot\text{OH}$ ) และ superoxide anion ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง ตามลำดับ (Fujishima *et al.*, 2000; Zhao and Yang, 2003) hydroxyl radical และ superoxide anion จะเข้าไปจับโมเลกุลเอทิลีน โดย hydroxyl radical จะดึงอะตอมไฮโดรเจนของเอทิลีนกลายเป็นน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ส่วน superoxide anion จะดึงอะตอมคาร์บอนของเอทิลีนรวมตัวกันกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) (Park *et al.*, 1999) (ภาพ 3) ส่งผลให้ปริมาณเอทิลีนลดลงแต่ปริมาณไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระบบจะสูงขึ้น (Han and Nie, 2004)



ภาพ 3 การเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการสลายตัวของเอทิลีน

#### 8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ในการกำจัดเอทิลีน

Maneerat *et al.* (2003) ศึกษาการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  ต่อการสลายตัวของเอทิลีน ทดสอบโดยใช้ลูกบิดแก้วเคลือบด้วยสารละลาย  $\text{TiO}_2$  ร่วมกับการฉายรังสีด้วยหลอด UV-A พบว่าปริมาณเอทิลีนลดลง ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้  $\text{TiO}_2$  แต่ไม่ใช่ฉายรังสี พบว่าปริมาณเอทิลีนไม่เปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับ Ye *et al.* (2009) ได้ศึกษาการเคลือบฟิล์มที่มีส่วนประกอบของ activated carbon felts, platinum และ  $\text{TiO}_2$  ร่วมกับการใช้แสง UV โดยทดสอบที่อุณหภูมิ  $3 \pm 1$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์  $90 \pm 3$  เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถสลายก๊าซเอทิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วน Chawengkijwanich and Hayata (2008) กำจัดก๊าซเอทิลีนโดยใส่ฟิล์มที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร เปรียบเทียบระหว่างอนุภาคไมโครและอนุภาคนาโน  $\text{TiO}_2$  ในถุงปิดผนึกขนาด 2 ลิตร โดยเอทิลีนจะถูกฉีดเข้าไปในถุงซึ่งมีความเข้มข้น 10 ppm และเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้การฉายแสง UV-A 20 วัตต์ โดยหลอด UV-A มีระยะห่างจากฟิล์มที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  ทั้งสองอนุภาคร่วมกับการฉายแสงสามารถกำจัดเอทิลีนได้ โดยผลการทดลองได้แสดงประสิทธิภาพของอนุภาคนาโน  $\text{TiO}_2$  ซึ่งช่วยลดปริมาณเอทิลีนได้ดีกว่าอนุภาคไมโคร ที่เวลาการฉายแสง 3 ชั่วโมง โดยการใช้นาโน  $\text{TiO}_2$  พบว่ามีปริมาณเอทิลีนเท่ากับ 0 ppm ในขณะที่ใช้ไมโคร  $\text{TiO}_2$  มีค่าเท่ากับ 8 ppm

โดยเมื่อนำการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  มาทดสอบกับผลิตภัณฑ์ที่มีการปลดปล่อยเอทิลีนระหว่างการสุก พบว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ในไม้ผลหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ในการทดลองของ Nishizawa *et al.* (2006) ได้เก็บรักษาผลกล้วยหอมพันธุ์ Cavendish ร่วมกับการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 44 วัน พบว่าหลังจากวันที่ 19 กรรมวิธีที่ไม่ใช่  $\text{TiO}_2$  ปริมาณเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยวันที่ 35 มีปริมาณเอทิลีนเท่ากับ 1.63 ไมโครลิตรต่อลิตร ส่วนกรรมวิธีที่ใช้  $\text{TiO}_2$  มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 25 และในวันที่ 43 มีเอทิลีนอยู่เพียง 0.78 ไมโครลิตรต่อลิตร ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของผลกล้วยหอมในวันที่ 17 ของการเก็บรักษา พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรรมวิธีที่ไม่ใช่  $\text{TiO}_2$  เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงวันที่ 35 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36,305 ไมโครลิตรต่อลิตร ในวันเดียวกันกรรมวิธีที่ใช้  $\text{TiO}_2$  มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพียง 16,002 ไมโครลิตรต่อลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรรมวิธีที่ใช้  $\text{TiO}_2$  สามารถรักษาระดับของคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช่  $\text{TiO}_2$  เช่นเดียวกับการใช้หลอด UV-A ร่วมกับฟิล์ม oriented-polypropylene (OPP) ที่ไม่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  เก็บรักษามะเขือเทศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเอทิลีนที่สะสมในวันที่ 8 มีค่าเท่ากับ 22 ppm ส่วนการใช้หลอด UV-A ร่วมกับฟิล์มที่เคลือบด้วยนาโน  $\text{TiO}_2$  มีค่าเท่ากับ 3 ppm เช่นเดียวกับการใช้หลอด fluorescent ร่วมกับฟิล์มที่ไม่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  เก็บรักษามะเขือเทศที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเอทิลีนที่สะสมในวันที่ 10 มีค่าเท่ากับ 8 ppm ส่วนการใช้ fluorescent ร่วมกับฟิล์มที่เคลือบด้วยนาโน  $\text{TiO}_2$  มีค่าเท่ากับ 1.8 ppm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเคลือบฟิล์ม OPP ด้วย  $\text{TiO}_2$  ซึ่งเป็นการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงช่วยลดการการสะสมเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปลง (package atmosphere) (Chawengkijwanich and Hayata, 2008) เช่นเดียวกันเมื่อใช้ฟิล์มที่เคลือบด้วยผง  $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$  ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร (%w/v) ห่อผลข้าวโพดฝักอ่อน ภายใต้แสง fluorescent ขนาด 10 วัตต์ ซึ่งมีระยะห่างจากผลข้าวโพดฝักอ่อน 50 เซนติเมตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียส พบว่าฟิล์มที่ผ่านการเคลือบด้วยผง  $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$  สามารถลดความเสียหายและช่วยลดอัตราการหายใจของข้าวโพดได้ รวมทั้งยืดอายุการเก็บรักษาผลข้าวโพดฝักอ่อนให้นานขึ้นจาก 7 วัน เป็น 16 วันหรือคิดเป็นเวลาที่ยืดอายุได้เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบ  $\text{TiO}_2/3\text{SnO}_2/0.5\text{Fe}^{3+}$  (นุษบากร, 2553)

เมื่อทดสอบการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  ต่อคุณภาพของผลไม้ พบว่าการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  ภายใต้การเก็บรักษามะเขือเทศแบบดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere condition) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถชะลอการสุกชะลอการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีแดงของผลมะเขือเทศได้ และไม่พบก๊าซเอทิลีนภายในห้องเก็บ

รักษาตลอดระยะเวลาการทดลอง (Maneerat *et al.*, 2003) สอดคล้องกับ Li *et al.* (2009) ศึกษาผลของนาโนบรรจุภัณฑ์ซึ่งสังเคราะห์จากโพลิเอทิลีนผสมกับผงนาโน (นาโนซิลเวอร์ ดินเหนียว และ  $\text{TiO}_2$  ชนิดอนาเทสและรูไทล์) ร่วมกับการใช้ UV เพื่อรักษาคุณภาพผลพุทราจีนระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เทียบกับบรรจุภัณฑ์ปกติ หลังการเก็บรักษานาน 12 วัน พบว่านาโนบรรจุภัณฑ์นาโนช่วยชะลอการเน่าของผล ลดการสูญเสียน้ำหนัก ลดการเกิดสีน้ำตาล และชะลอการสุกได้ ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และวิตามินซีของผลพุทราจีนที่ห่อด้วยบรรจุภัณฑ์นาโนลดลงเท่ากับ 0.21 เปอร์เซ็นต์ และ 251 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนในบรรจุภัณฑ์ปกติมีค่าเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ และ 198 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วน Nishizawa *et al.* (2008b) ได้เก็บผลมะเขือเทศที่ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 17 วัน พบว่าความเข้มข้นของกลูโคส ฟรักโทส กรดซิตริก และกรดมาลิกของกรรมวิธีที่ใช้  $\text{TiO}_2$  มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้  $\text{TiO}_2$  ในทางตรงกันข้ามกรรมวิธีที่ใช้  $\text{TiO}_2$  ความเข้มข้นของอะเซทลดีไฮด์และเอทานอลน้อยกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้  $\text{TiO}_2$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับ Maneerat and Hayata (2006) ได้รายงานการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  ว่านอกจากจะช่วยสลายเอทิลีนแล้ว ยังสามารถกำจัดอะเซทลดีไฮด์ เอทานอล และรสชาติที่ผิดปกติที่สร้างขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาผลมะเขือเทศได้ ส่วน Tazawa *et al.* (2004) ทำการทดสอบวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดยฟิล์มบาง  $\text{TiO}_2$  ขนาด 2.0 x 2.5 เซนติเมตร การทดสอบจะใช้ก๊าซอะเซทลดีไฮด์ ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ ) ความเข้มข้นหลายร้อย ppm เป็นก๊าซทดสอบและฉายแสง UV จากหลอด xenon 100 วัตต์ เพื่อกระตุ้นให้เกิดสมบัติโฟโตแคตาไลติก พบว่าการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดยฟิล์มบาง  $\text{TiO}_2$  สามารถสลายก๊าซอะเซทลดีไฮด์ได้ และทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการฉายแสง UV ส่วนปัญหาเนื่องจากการเน่าของผลเมลอนญี่ปุ่น พบว่ามักจะมีความสัมพันธ์กับการผลิตเอทิลีนและการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ (McCollum *et al.*, 1989; Hadfield *et al.*, 1998; Nishizawa *et al.*, 2002) จึงมีการศึกษาการเก็บรักษาผลเมลอนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ร่วมกับการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  พบว่าการใช้  $\text{TiO}_2$  ร่วมกับแสง UV สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้  $\text{TiO}_2$  แต่ความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อย้ายมาเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างการใช้และไม่ใช้  $\text{TiO}_2$  ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา แต่การเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  สามารถลดการพัฒนาความผิดปกติของรอยหยักบนผิวเปลือกและการไส้เน่า (water core) ได้ (Nishizawa *et al.*, 2009)

อย่างไรก็ตามการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสงโดย  $\text{TiO}_2$  ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ  $\text{TiO}_2$  และความเข้มแสงของหลอด UV-A ด้วย รวมไปถึงพื้นที่ผิวที่มีขนาดใหญ่ของวัสดุที่  $\text{TiO}_2$

เคลือบ เช่น ฟิล์ม ฯลฯ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสลายตัวของเอทิลีน (Park *et al.*, 1999) นอกจากนี้อัตราการย่อยสลายเอทิลีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ  $\text{TiO}_2$  มีขนาดอนุภาคเล็กลง โดย Maneerat and Hayata (2008) รายงานว่าการใช้สาร  $\text{TiO}_2$  อนุภาคนาโนที่เคลือบบนฟิล์ม OPP สามารถดูดซับและย่อยสลายเอทิลีนได้ และมีประสิทธิภาพดีกว่า  $\text{TiO}_2$  อนุภาคไมโคร โดยการใช้อนุภาคระดับนาโนสามารถสลายเอทิลีนเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น  $\text{TiO}_2$  ระดับนาโนที่สูงขึ้นจาก 0.1 เปอร์เซ็นต์เป็น 10 เปอร์เซ็นต์

ในการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการปรับปรุงเครื่อง TPO จากการทดลองของวิลาวัลย์และคณะ (2554) ซึ่งได้ออกแบบเครื่อง TPO โดยเปรียบเทียบชนิดของหลอด UV ระหว่างหลอด UV-A และ UV-C ร่วมกับการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ซึ่งได้กล่าวว่า UV-A กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกได้ดีกว่า UV-C อีกทั้งยังพบว่าระยะห่างระหว่างหลอด UV และแผ่น  $\text{TiO}_2$  มีผลต่อปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกด้วย การศึกษานี้จึงต้องศึกษาเพิ่มเติมในหลายประเด็น เพื่อหาพารามิเตอร์ของเครื่อง TPO ที่เหมาะสมต่อการสลายตัวของเอทิลีน ซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของแผ่น  $\text{TiO}_2$  ระยะห่างระหว่างหลอด UV-A และแผ่น  $\text{TiO}_2$  ทั้งสองให้ใกล้เคียงมากที่สุด และนำเครื่อง TPO มาเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิห้อง

ดังนั้น  $\text{TiO}_2$  อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในอนาคตเพื่อนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว ด้วยเหตุนี้ในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาผลของ  $\text{TiO}_2$  photocatalytic oxidation ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ระหว่างการเก็บรักษาเพื่อเป็นแนวทางใหม่ในการเก็บรักษาผลมะม่วงต่อไป