

## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสาร

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ผลเมืองร้อนที่ทนแล้งได้ปานกลางต้องการสภาพอากาศที่มีความชุ่มชื้นและแห้งแล้งสลับกันไป มะม่วงเจริญได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 24-27 องศาเซลเซียส สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพดินปลูกในช่วงกว้าง ทั้งในดินร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์ ไปจนถึงดินที่มีแต่ทราย ดินลูกรัง หินตามเนินเขา และดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์อื่น ๆ แต่ดินปลูกมะม่วงที่ให้ผลดีที่สุดควรเป็นดินร่วนที่มีหน้าดินลึก ประเทศไทยมีสภาพภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสมสำหรับปลูกมะม่วงอย่างมาก (วิจิตร, 2529; เกศิณี, 2530 และ สถาบันวิจัยพืชสวน, 2532) จึงทำให้มะม่วงเป็นไม้ผลที่มีพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณการผลิตมากเป็นอันดับสองรองจากกล้วย

พันธุ์มะม่วงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มสำคัญ คือ มะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian type) และกลุ่มอินโดจีน (Indochinese type) (วิจิตร, 2529)

1. มะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian type) มีถิ่นกำเนิดทางตอนเหนือของประเทศอินเดียและปากีสถาน ปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา (รัฐฟลอริดา) และเม็กซิโก เมล็ดของมะม่วงกลุ่มนี้เมื่อปลูกจะให้ต้นกล้าเพียง 1 ต้นต่อเมล็ด และต้นกล้านั้นจะกลายพันธุ์ไม่เหมือนต้นแม่เพราะเป็นลูกผสม ผลมะม่วงมักมีสีสะดุดตา เช่น แดง ม่วง และ ส้ม ผลค่อนข้างกลม รสชาติอมเปรี้ยว และมีกลิ่นแรง

2. มะม่วงกลุ่มอินโดจีน (Indochinese type) มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร เมื่อนำมาเพาะเมล็ดจะให้ต้นกล้ามากกว่า 1 ต้นต่อเมล็ด ต้นกล้าที่ได้ส่วนมากจะเหมือนต้นแม่ เพราะเกิดจากเซลล์ร่างกาย (nucellar cell) ของต้นแม่เป็นส่วนใหญ่ ผลมีสีเขียวหรือเหลือง รสหวาน และมีกลิ่นไม่แรง

### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะม่วง (วิจิตร, 2529)

Class	Dicotyledonae
Sub – class	Archichlamydeae
Order	Sapindales
Family	Anacardiaceae
Genus	<i>Mangifera</i>
Scientific name	<i>Mangifera indica</i> L.

มะม่วงเป็นพืชตระกูลเดียวกับมะม่วงหิมพานต์ และมะกอก ซึ่งอยู่ในตระกูล Anacardiaceae โดยจะประกอบด้วยพืชประมาณ 73 สกุล มีอยู่ประมาณ 600 ชนิด (species) พืชตระกูลนี้ส่วนใหญ่อยู่ในเขตร้อน เช่น มะกอก (*Spodias* spp.) ซึ่งให้เนื้อผลเป็นอาหาร มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* L.) ซึ่งให้เมล็ดรับประทานได้ ต้นวาร์นิช (Varnish tree) เป็นพวกที่ให้ยาง (resin) น้ำมันชักเงา (lacquers) ต้นสเนค (Snake tree) (*Continus coggigia* Scop.) เป็นพวกที่ใช้ประโยชน์เป็นไม้ประดับ (วิจิตร, 2529)

มะม่วงเป็นไม้ผลยืนต้นไม่ผลัดใบ ลำต้นขนาดกลางถึงใหญ่ สูงประมาณ 10-40 เมตร ใบเป็นรูปหอก (simple lanceolate) ใบหนา ผิวใบด้านบนเรียบเป็นมัน สีเขียวเข้ม ด้านล่างไม่เป็นมัน สีอ่อนกว่าด้านบน ใบอ่อนมีสีม่วงอ่อนถึงม่วงเข้ม ดอกเป็นช่อขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วยดอกย่อยที่มีขนาดเล็ก แต่ละช่อประกอบด้วยดอกสมบูรณ์เพศและดอกเพศผู้ ออกดอกในช่วงเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ติดผลระหว่างเดือนมกราคมถึงมีนาคม และผลแก่ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม (วิจิตร, 2529; Mukherjee, 1997)

### ลักษณะของมะม่วงที่มีคุณภาพดี

มะม่วงที่จัดว่ามีคุณภาพดีต้องมีลักษณะต่าง ๆ ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งลักษณะที่สำคัญ ๆ ซึ่งบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลมะม่วง คือ (มณู, 2540)

#### 1. ลักษณะที่ปรากฏภายนอก

- 1.1 รูปร่างตรงตามพันธุ์ดี อ้วนกลมไม่ผอมบางหรือรูปทรงไม่บิดเบี้ยว สันหรือยาวผิดปกติ
- 1.2 สีผิวสม่ำเสมอมีนวล ไม่มีลักษณะของผลต่างหรือลาย สำหรับมะม่วงสุกจะมีสีเหลืองสม่ำเสมอทั้งผล ยกเว้นมะม่วงพันธุ์ต่างประเทศ หรือพันธุ์ลูกผสมจากต่างประเทศซึ่งอาจจะมีสีแดงหรือสีส้ม
- 1.3 ผิวปราศจากร่องรอยการทำลายของโรคและแมลง

1.4 ตำหนิบนผิวต่าง ๆ เช่น ผิวแตก ผิวเป็นจุดประอะเปื้อนน้ำยาง แดงเผา รอยขีดข่วนจากการเสียดสี รอยยุบบนผิว

1.5 ไม่บอบขำ ซึ่งเกิดจากการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง

1.6 ผลมีขนาดโตสม่ำเสมอ

## 2. คุณภาพเนื้อภายใน

2.1 มีความแก่จัดตามที่ตลาดต้องการ ถ้าเป็นมะม่วงสำหรับใช้รับประทานผลดิบประเภทมะม่วงมันจะมีความหวานมัน เนื้อสีเหลืองอ่อนและกรอบ สำหรับมะม่วงรับประทานสุกจะต้องแก่จัด เมื่อบ่มสุกแล้วผลไม่เหี่ยว ความหวานสูง ไม่เปรี้ยว ยกเว้นมะม่วงดิบที่ใช้รับประทานผลอ่อนกับน้ำปลาหวาน หรือใช้ปรุงอาหารในลักษณะย่ำร่วมกับอาหารชนิดต่าง ๆ

2.2 เมื่อสุกแล้วไม่แสดงลักษณะการทำลายของโรคและแมลงชนิดต่าง ๆ เช่น จุดดำเนื่องจากโรคแอนแทรคโนส โรคข้าวผลเน่า ผลเน่าจากแบคทีเรีย รวมทั้งผลเน่าจากการทำลายของหนอนแมลงวันทอง ซึ่งคิดมากับผลมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว

2.3 เนื้อต้องมีสีเข้ม ไม่ซีดจาง โดยทั่วไปมะม่วงทุกพันธุ์ ผลอ่อนจะมีสีเขียวซีดและเมื่อแก่จัดจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น โดยผลสุกที่แก่จัดจะมีสีเหลืองถึงส้ม

2.4 ความแน่นเนื้อมะม่วงสำหรับใช้รับประทานดิบจะต้องกรอบ ไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง สำหรับมะม่วงสุกต้องไม่ละ อ่อนนุ่มพอเหมาะสม่ำเสมอทั้งผล ตามลักษณะประจำพันธุ์

2.5 รสชาติดีตรงตามพันธุ์ ถ้าเป็นมะม่วงมันจะมีรสหวานมันกรอบ แต่ถ้าเป็นมะม่วงสุกต้องมีรสหวานมาก สม่ำเสมอทั้งผล ยกเว้นมะม่วงพันธุ์ต่างประเทศหรือพันธุ์ลูกผสมจากต่างประเทศซึ่งอาจจะมีรสเปรี้ยวปนเล็กน้อย

2.6 มีเนื้อสำหรับใช้รับประทานมากและเสี้ยนใยน้อย

## 3. ไม่มีสารพิษตกค้างบนผลมะม่วง

3.1 สารเคมีในเนื้อผลมะม่วง

3.2 สารเคมีบริเวณผิวเปลือกของผลมะม่วง

## 2.2 มะม่วงพันธุ์มหาชนก (Mahajanaka mango)

มะม่วงพันธุ์มหาชนก เป็นมะม่วงพันธุ์ใหม่ที่เกิดจากการเพาะเมล็ดของผลมะม่วงที่ได้จากการผสมระหว่างมะม่วงพันธุ์ชั้นเซทกับมะม่วงพันธุ์หนังกกลางวัน โดยต้นพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์มหาชนกต้นแรกอยู่ที่สวนทิวทอง จังหวัดลำพูน มะม่วงพันธุ์ใหม่นี้เหมาะแก่การส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศเพราะมีเปลือกหนา ขนาดผลและรูปร่างสม่ำเสมอดี เป็นพันธุ์ที่ออกดอกติดผลง่ายโตเร็ว น้ำหนักดี เนื้อหนา เมล็ดลีบบางเมื่อผลสุก สีผิวจะมีสีเหลืองเข้ม เนื้อผลมี

สีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นหอม รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย เมื่อสุกอมจะหวานจัด เนื้อไม่เละ สำหรับศัตรูพืชที่สำคัญคือ เพลี้ยจักจั่นซ่อม่วง เพลี้ยไฟ และแมลงวันผลไม้ ถ้าทำการห่อผลด้วยวัสดุที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันศัตรูพืชและเป็นการเพิ่มคุณภาพของผลได้ ผลมะม่วงสามารถบริโภคสดเมื่อผลสุกหรือนำมาแปรรูป เช่น นำเนื้อผลไปปั่นร่วมกับน้ำเชื่อมและเกลือ แล้วแช่เย็นเพื่อรับประทาน หรืออาจทำเป็นไอศกรีมเชอร์เบทมะม่วงมหาชนกได้ การเก็บรักษาผลมะม่วงให้ได้เวลานานอาจทำได้โดยบรรจุในถุงพลาสติกสำหรับใส่ผักผลไม้ เจาะรู 3-4 รู มัดปากถุงให้แน่น เก็บในตู้เย็นช่องเก็บผัก (มนตรี, 2542) ลักษณะของพันธุ์มะม่วงมหาชนก โดยทั่วไปมีดังนี้ (รวีและเปรมปรี, 2542)

1. ใบมีขนาดใหญ่ หนา ใบอ่อนมีสีแดง ปลายใบแหลม ใบแก่มีสีเขียวเข้มแต่ไม่ดำ
2. ลำต้นและกิ่งแข็งแรง มีพุ่มขนาดใหญ่ กิ่งอวบใหญ่ และข้อนูน
3. ดอก ก้านช่อมีสีแดง ช่อดอกใหญ่ มีดอกสมบูรณ์เพศสูง ช่วงฤดูกาลที่ออกดอกเหลืองส้มได้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ ทำให้ฤดูกาลเก็บเกี่ยวสามารถขยายได้ยาวนานขึ้น
4. ผล ทรงผลยาวคล้ายพันธุ์หนังกลางวัน แต่สั้นกว่า ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 350-500 กรัม ผลอ่อนสีเปลือกมีสีเขียว เปลือกหนา เนื้อเมื่อดิบมีสีขาวออกเขียว เมื่อแก่เปลือกผลจะมีสีเขียวและอาจมีสีแดงอยู่ด้วย และเมื่อผลสุกเนื้อจะมีสีเหลืองถึงเหลืองส้ม เนื้อละเอียดและแน่น เนื้อดิบมีรสเปรี้ยวมากและมีกลิ่นยาง แต่เมื่อสุกมีรสหวานอมเปรี้ยว ไม่หวานจัด
5. เมล็ด มีขนาดเล็กและบางมาก

มะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นมะม่วงพันธุ์หลักที่ประเทศไทยคนกำลังจะพัฒนาขึ้นมาเป็นพันธุ์ที่ปลูกเพื่อการส่งออกแข่งขันกับประเทศไทยมะม่วงพันธุ์นี้มีศักยภาพในการส่งออกที่ดีมากเนื่องจากผลมีคุณภาพดีและมีปริมาณเส้นใยน้อย กลิ่นหอม ไม่มีกลิ่นขี้ได้ รสชาติดี สีเปลือกและสีเนื้อสวยงาม (ศักดิ์, 2547)

### 2.3 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit มีการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญเช่นเดียวกับผลไม้อื่น ดังตาราง 1 โดยในระหว่างที่ผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ชีวเคมี และสรีรวิทยา เกิดขึ้นมากมาย

All rights reserved

ตาราง 1 การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผลไม้ (คณัย, 2540)

ปฏิกิริยาการสลายตัว	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์
1. การสลายตัวของคลอโรฟิลล์	1. การเกิดเม็ดแป้งในไมโทคอนเดรีย
2. การสลายตัวของแป้ง	2. การสังเคราะห์รงควัตถุแคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน
3. การสลายตัวของกรด	3. การเพิ่มขึ้นของน้ำตาล
4. การใช้อาหารสะสม	4. การเพิ่มอัตราการหายใจและสร้างพลังงาน
5. การเปลี่ยนรูปของสารประกอบฟีนอล	5. การสังเคราะห์สารระเหย
6. การเปลี่ยนรูปของสารประกอบ pectin	6. การเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนและกรดอะมิโน
7. การเริ่มเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้ม	7. การสังเคราะห์เอทิลีน
8. การอ่อนตัวของผนังเซลล์	

จากการศึกษาของ จุลจิรา (2545) รายงานว่า มะม่วงพันธุ์มหาชนกหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและสีเนื้อของผล โดยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงไว้นานขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity; TA) มีค่าลดลง ปริมาณแป้งมีค่าลดลง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS) มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา อัตราส่วนระหว่าง TSS: TA มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา และปริมาณเบตา-แคโรทีน ในเนื้อและเปลือกของผลเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลสุก

### 2.3.1 การอ่อนนิ่มของผล

การอ่อนนิ่มของผลซึ่งวัดจากค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงโดยส่วนใหญ่ในช่วงผลอ่อนจนถึงผลแก่จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อลดลงบ้างในช่วงผลแก่ โดยมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงหลาย ๆ พันธุ์ ได้แก่ ในมะม่วงพันธุ์ทองดำเมื่อผลมะม่วงมีอายุ 2 สัปดาห์มีความแน่นเนื้อค่อนข้างต่ำคือ 5.08 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง



ผลแก่จะมีความแน่นเนื้อเท่ากับ 19.26 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (สายชลและคณะ, 2534) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ในช่วงผลอ่อนจะมีความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้นความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลเข้าสู่ระยะการแก่โดยมีค่าเท่ากับ 25–26.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (นิพนธ์, 2534)

เมื่อผลสุก เนื้อผลจะนิ่มลงเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางโมเลกุลต่าง ๆ ภายในผนังเซลล์ โดยเฉพาะ pectin ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของ galacturonic acid โดย pectin ที่อยู่ในรูปของ protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำ เปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล pectin นี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิดด้วยกัน คือ polygalacturonase (PG) และ pectin esterase (PE) โดยเอนไซม์ PG จะย่อยโมเลกุลของ polygalacturonic acid ให้สั้นลง ขณะที่ PE จะย่อยเอากลุ่มเมทิลของโมเลกุลของ galacturonic acid ออก แต่การเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้อาจจะยังไม่ถูกต้องอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากโครงสร้างของผนังเซลล์มีความซับซ้อนมากรวมทั้งในการย่อยสลายผนังเซลล์นี้อาศัยเอนไซม์หลายชนิดในการเร่งปฏิกิริยาและควบคุมกระบวนการนี้ (Kays, 1991) Gomez-Lim (1993) รายงานว่าในช่วงระหว่างการสุกโครงสร้างผนังเซลล์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโดยโมเลกุลของ pectin และ hemicellulose ถูกเอนไซม์บางชนิดย่อยสลายทำให้แรงยึดเกาะกันของโมเลกุลต่าง ๆ ลดลง สำหรับมะม่วง การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ inner mesocarp ของมะม่วงก่อนออกสู่ outer mesocarp (Lazan *et al.*, 1986) ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ PE ที่พบมากในผลดิบและเอนไซม์ PG ซึ่งส่วนใหญ่พบในระยะการสุกของผลมะม่วง (Gomez-Lim, 1993)

### 2.3.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อ

เปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกอย่างหนึ่งซึ่งสีต้นของผลไม้มีความสำคัญมากในการแสดงคุณภาพของผลไม้ประการหนึ่ง สีของผลไม้ที่ปรากฏอยู่นั้นเกิดจากกลุ่มของรงควัตถุ (pigment) ต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์พืช โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและปริมาณของรงควัตถุตลอดระยะเวลาของการเจริญพัฒนาของผลิตผลแต่ละชนิด รงควัตถุหลักที่พบมากในผลไม้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophylls) มีสีเขียว แคโรทีนอยด์ (carotenoids) มีสีเหลืองจนถึงสีแดง และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) มีตั้งแต่สีแดงไปจนถึงสีม่วงหรือน้ำเงิน ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีรงควัตถุที่สำคัญได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) แคโรทีน (carotene) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ตามลำดับ (คณัย, 2540 ; Gross, 1987)

Pantastico (1975) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมะม่วงพบว่าการเปลี่ยนสีเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้นเมื่อผลมีความแก่เพิ่มขึ้นซึ่งในมะม่วงพันธุ์ Alphonso และ Pairi

ใช้เวลาดังแต่ติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนาน 110–125 วัน ผลแก่จะมีสีผิวเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์ไทยหลาย ๆ พันธุ์ เช่น มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (ดวงตราและคณะ, 2527) มะม่วงพันธุ์หนังกกลางวัน (วุฒิกุล, 2530 และ อาวี, 2530) และพันธุ์ทองดำ (สายชลและคณะ, 2534) เป็นต้น นอกจากนี้ในระหว่างการสุกสีเนื้อผลก็มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองหรือเหลืองอมส้ม ขึ้นกับพันธุ์ของมะม่วง เช่น มะม่วงพันธุ์มหาชนกเมื่อสุกจะมีสีเนื้อเป็นสีเหลืองอมส้ม (จุลจิรา, 2545)

### 2.3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด

ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการหายใจประกอบด้วยโมเลกุลของกรดชนิดต่าง ๆ เช่น กรดไพรูวิก และกรดอื่น ๆ ดังเห็นได้ในวัฏจักรเครปส์ (Krebs' cycle) แต่กรดที่พบในปริมาณมากในผักและผลไม้มักจะอยู่ในรูปของเกลือของกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) เป็นต้น โดยกรดซิตริกซึ่งพบมากในผลมะม่วงเกิดจาก acetyl CoA รวมกับกรดออกซาโลอะซีติก (oxaloacetic acid) จนได้กรดซิตริก จากนั้นกรดซิตริกก็จะเปลี่ยนไปเป็นสารตัวอื่น ๆ ในวัฏจักรเครปส์ โดยกรดมักถูกเก็บสะสมไว้ในแวคคิวโอลในปริมาณมาก ในช่วงผลอ่อนจะมีการสะสมของกรดมาก เนื่องจากการสะสมกรดเหล่านี้อาจได้มาจากสารตัวกลางในวัฏจักรเครปส์ การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนและการเคลื่อนย้ายกรดอินทรีย์จากส่วนต่าง ๆ ของพืช (Kays, 1991)

ในมะม่วงพันธุ์เคนท์ (Kent) จะมีกรดลดลงเมื่อผลมะม่วงแก่เพิ่มขึ้นโดยกรดซิตริกเป็นกรดหลักที่มีปริมาณลดลงมากที่สุด และกรดมาลิกแม้จะมีปริมาณน้อยในช่วงผลแก่ แต่จะลดลงมากในช่วงผลสุก สอดคล้องกับที่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ malate dehydrogenase เพิ่มขึ้นระหว่างผลสุก โดยเกิดในช่วง climacteric peak (Medlicott and Thompson, 1985)

### 2.3.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล

น้ำตาลในผักและผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิดคือน้ำตาลซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) และฟรุคโตส (fructose) ซึ่งพบสะสมอยู่ในแวคคิวโอล (vacuole) เป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดในผลิตผลต่าง ๆ แตกต่างกันไป บางชนิดมีซูโครสอยู่มาก ในขณะที่บางชนิดไม่มีซูโครสอยู่เลยทำให้รสชาติความหวานของผักและผลไม้ต่างชนิดแตกต่างกันไป (จริงแท้, 2538) ซึ่งในการศึกษามักจะรวมน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสเข้าด้วยกันเรียกว่า น้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ในผลไม้ส่วนใหญ่จะมีน้ำตาลกลูโคสมากกว่าฟรุคโตส โดยน้ำตาลกลูโคสจะได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง (दनัย, 2534) ส่วนในมะม่วงพบว่าน้ำตาลที่มีมากที่สุดคือซูโครส (Krishnamurthy and Subramanyam, 1970; Selvaraj *et al.*, 1989; Kumar *et al.*, 1994; Budiastra *et al.*, 1998)

วุฒิกุล (2530) พบว่ามะม่วงพันธุ์หนังกกลางวัน มีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นโดยมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TSS ในช่วงแรกค่อนข้างน้อยเป็นเพราะมะม่วงมีการสะสมแป้งมากกว่า

น้ำตาล แต่เมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นแป้งจะสลายไปเป็นน้ำตาลส่งผลให้มีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้น ส่วนการสะสมแป้งในช่วงแรกจะทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเนื่องจากน้ำตาลกลูโคสจะถูกใช้เป็นการตั้งต้นในการสังเคราะห์แป้ง

#### 2.4 บทบาทของเอทิลีนต่อกระบวนการสุกของผลไม้

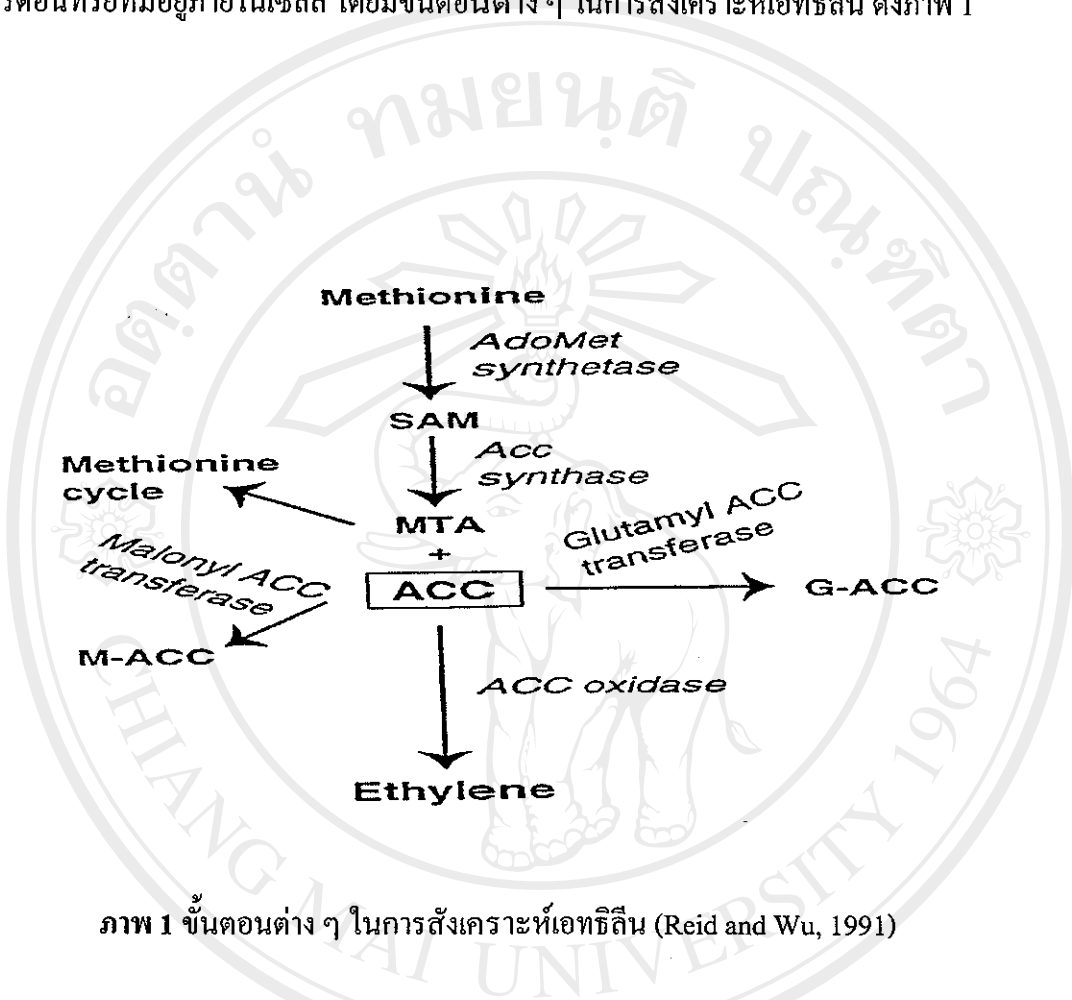
เอทิลีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) พืชทุกชนิดและจุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตก๊าซเอทิลีนได้ (Yang and Hoffman, 1984) นอกจากนี้มนุษย์ยังสามารถทำให้เกิดเอทิลีนได้จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับรถยนต์ เมื่อการสันดาปเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จะได้เอทิลีนออกมาทางท่อไอเสีย (จริงแท้, 2541) เอทิลีนสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้างขวางต่อการพัฒนาการของพืช โดยทั่วไปเอทิลีนจะเร่งการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ จากการศึกษาในผลไม้พบว่า กระบวนการสุกจะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีเอทิลีน และระหว่างการสุกก็ยังจำเป็นต้องมีเอทิลีน มิฉะนั้นแล้วการสุกจะไม่สมบูรณ์ การตอบสนองของผลไม้ต่อเอทิลีนพบว่า เนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่มีการตอบสนองไม่ดีเท่าเนื้อเยื่อที่บริบูรณ์แล้ว (mature) (จริงแท้, 2541) ก๊าซเอทิลีนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นภายในผลไม้ขณะที่ผลกำลังสุก และเป็นฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น ก๊าซเอทิลีนจึงได้ชื่อว่า ripening hormone จากการศึกษาพบว่า ในระยะผลแก่จัดนั้นจะมีการสร้างก๊าซเอทิลีนภายในพืชอัตราที่ต่ำมาก และจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดียวกับอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นระยะที่กระบวนการต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนสีผิว การนิ่มของเนื้อเยื่อผลไม้ การสังเคราะห์น้ำตาล ฯลฯ จะเพิ่มขึ้น อัตราการสร้างก๊าซเอทิลีนจะถึงจุดสูงสุด และจะคงที่อยู่ระยะหนึ่งแล้วค่อย ๆ ลดลง ซึ่งอยู่ในระยะเดียวกับการหายใจที่ค่อย ๆ ลดลง อัตราการสร้างก๊าซเอทิลีนจะมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ (จิรา, 2533)

Abeles *et al.* (1992) รายงานว่าเอทิลีนเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และชักนำให้เกิดการเสื่อมสภาพของดอกไม้ การโค้งงอของก้านใบ การหลุดร่วงของใบและผล เอทิลีนสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสุกให้เกิดขึ้นได้ ซึ่งโดยทั่วไปเอทิลีนมีผลในการเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ ในใบพืชเอทิลีนสามารถกระตุ้นให้เกิดการหลุดร่วงของใบ ส่วนในผลไม้เอทิลีนสามารถกระตุ้นให้เกิดการสุกได้เร็วขึ้น (จริงแท้, 2541)



#### 2.4.1. กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน

พืชสามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้จาก methionine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่พืชสังเคราะห์ได้เอง จากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ภายในเซลล์ โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ในการสังเคราะห์เอทิลีน ดังภาพ 1



ภาพ 1 ขั้นตอนต่าง ๆ ในการสังเคราะห์เอทิลีน (Reid and Wu, 1991)

Methionine เป็นสารเริ่มต้น (precursor) ตัวแรกที่ถูกเปลี่ยนเป็น SAM โดยเอนไซม์ S-adenosylmethionine transferase จากนั้น SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น ACC โดยเอนไซม์ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase (ACC synthase) ซึ่งพบว่าเป็น rate limiting enzyme ของกระบวนการสังเคราะห์ของเอทิลีนในเนื้อเยื่อพืชหลายชนิด เช่น ราก ลำต้น ใบ ช่อดอกและผล ส่วนเอนไซม์ที่กระตุ้นการเปลี่ยนจาก ACC ให้เป็นเอทิลีน คือเอนไซม์ ACC oxidase หรือ ethylene forming enzymes (EFE) ซึ่งมีอยู่มากในเนื้อเยื่อพืชโดยทั่วไป ปัจจุบันเอนไซม์นี้สามารถแยกออกมาจากเซลล์ได้ และคาดว่าอาจเชื่อมติดอยู่กับเมมเบรน (membrane bound enzyme) ACC อาจถูกเปลี่ยนไปเป็น malonyl ACC (MACC) ซึ่งค่อนข้างเสถียร แต่ในบางกรณี EFE อาจเป็น rate limiting enzyme ด้วย (Tucker, 1993) สำหรับแหล่งที่เอทิลีนถูกผลิตขึ้นนั้นยังไม่เป็นที่ทราบกันแน่ชัด แต่เป็นไปได้ว่าการสังเคราะห์เอทิลีนอาจเกิดขึ้นที่บริเวณ plasma membrane (สายชล, 2528)

## 2.4.2 กลไกการทำงานของเอทิลีน

เอทิลีนทั้งที่พืชผลิตขึ้นและได้รับจากบรรยากาศภายนอก มีผลต่อการแสดงออกของพืช โดยมีกลไกการทำงานดังนี้ ขั้นตอนแรกของการตอบสนองต่อเอทิลีน คือการเข้าทำการจับกันของเอทิลีนกับตัวรับ (receptor) ที่มีความจำเพาะเจาะจง (specific receptor) ในเนื้อเยื่อเป้าหมาย (Taiz and Zeiger, 1991) ซึ่งการจับกันนี้จะไปกระตุ้นปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับติดต่อกันไป ส่งผลให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาขึ้น จากการรายงานของ Burg and Burg (1967) พบว่าตัวรับของเอทิลีนจะทำงานผ่านหมู่โลหะและทำให้เกิดความสามารถในการตอบสนองต่อเอทิลีนภายในพืชขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบเช่น เอทิลีน โพรไพลีน บิวเทน และ ไวนิลเมทิลเอสเทอร์ มีการจับกับอนุภาคเงิน (silver ion) ในลำดับเดียวกัน (Burg and Burg, 1967) มีงานวิจัยเป็นจำนวนมากรายงานว่าเอทิลีนสามารถทำปฏิกิริยากับตัวรับ ซึ่งประกอบด้วยสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) (Beyer, 1976; Burg and Burg, 1965) การจับของเอทิลีนได้มีการศึกษาโดยใช้วิธี isolated cell-free system จากใบเลี้ยง (cotyledons) ของถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*) โดยการใช้  $^{14}\text{C}$  ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีที่ใช้ในการ label กับเอทิลีนไว้ จากการตรวจสอบพบว่าเอทิลีนเกี่ยวข้องกับ golgi bodies และ endoplasmic reticulum (Bengochea *et al.*, 1980) การจับกันนี้ถูกยับยั้งได้โดยความร้อนและ proteolytic enzyme ซึ่งมีรายงานว่าตัวรับของเอทิลีนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่จับตัวอยู่กับเมมเบรน (internal membrane protein)

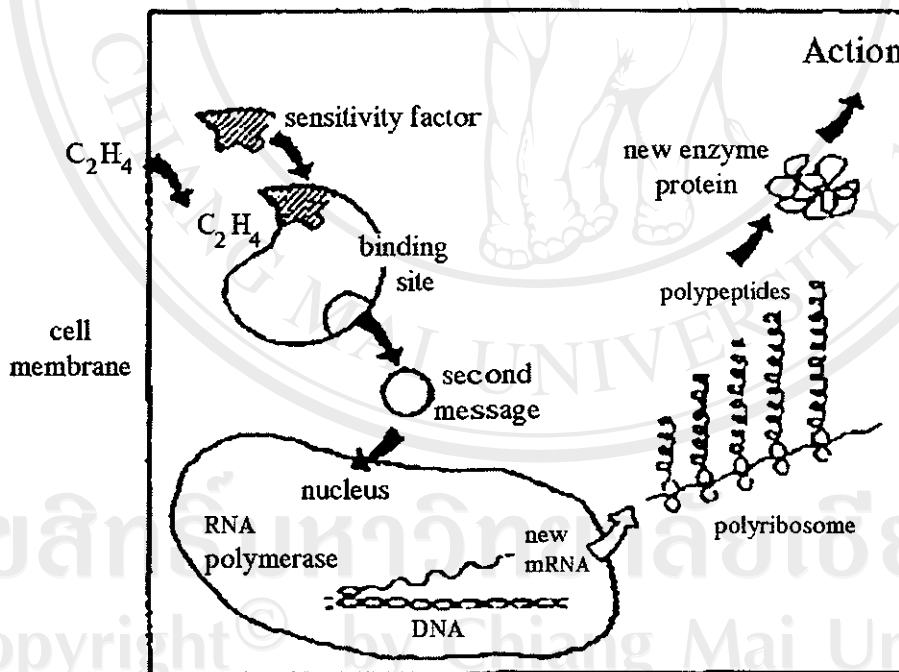
จากหลักฐานทางเคมีพบว่าตัวรับเอทิลีนคือ โปรตีนที่ประกอบด้วยทองแดง ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีน การทำงานของเอทิลีนอาจต่อกับโปรตีนดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น oxidation product ขึ้น เช่น เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) (Taiz and Zeiger, 1991) อย่างไรก็ตามยังไม่มีหลักฐานที่ปรากฏแน่ชัด

การสุกของผลไม้เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน ซึ่งถูกควบคุมโดยเอทิลีน การสุกประกอบด้วยขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมที่ต่อเนื่องกันเป็นลำดับ และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวกับเนื้อสัมผัส การเกิดกลิ่น เมแทบอลิซึมอื่น ๆ ซึ่งนำไปสู่การชราภาพของผลไม้ โดยพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา (morphology) และการแสดงออกของยีน (gene expression) ที่ถูกกระตุ้นโดยกระบวนการสุก (Kende, 1993) ดังตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ในระหว่างที่ผลไม้สุก เช่น อะโวคาโดและมะเขือเทศ (Christoffersen *et al.*, 1984) พบว่าเอทิลีนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสะสมของ mRNA ของทั้ง cellulase และ polygalacturonase ซึ่งแสดงว่าเอทิลีนมีความเกี่ยวข้องกับการ transcription ของยีนที่ทำให้เกิดการสร้างเอนไซม์ที่มีผลต่อผนังเซลล์ขึ้น (Christoffersen *et al.*, 1984) เพื่อหลีกเลี่ยงหรือชะลอการเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นจากคุณสมบัติที่ไปเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช ในทางวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

จึงมีความพยายามที่จะยับยั้งเอทรีลีน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของพืช ซึ่งหนึ่งในวิธีการเหล่านั้นคือการใช้สารเคมีในการยับยั้งเอทรีลีน

### 2.4.3 การตอบสนองต่อเอทรีลีนของพืช

การตอบสนองต่อเอทรีลีนของพืชมีกลไกดังภาพ 2 สมมติฐานการทำงานของเอทรีลีนเริ่มจากการที่พืชเมื่อได้รับเอทรีลีนแล้ว sensitivity factor ซึ่งเป็น fatty acid สายสั้น ๆ เริ่มทำงานโดยไปจับกับ membrane-base binding site ช่วยให้ binding site ทำงานได้ จากนั้นโมเลกุลของเอทรีลีนจับกับ binding site ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อย second message คือ ligand แล้วส่งไปยังนิวเคลียสเพื่อเข้าจับกับปลาย 5' ของสาย DNA ทำให้เกิดการสังเคราะห์ mRNA ขึ้นมา จากนั้น mRNA จะถูกแปลรหัสไปเป็น peptide ซึ่งจะต่อกันเป็นสายยาวได้ polypeptide ซึ่งเป็นโปรตีนโมเลกุลใหม่ ส่วนใหญ่จะเป็นเอนไซม์ที่เร่งการเสื่อมสภาพ (senescence) ของพืช (Kader, 1985; Reid and Wu, 1991)



ภาพ 2 สมมติฐานการทำงานของเอทรีลีน (Reid and Wu, 1991)

#### 2.4.4 การใช้สารเคมีในการยับยั้งเอทิลีน

การใช้สารเคมีในการยับยั้งเอทิลีนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก.) สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน (ethylene biosynthesis inhibitors)

สารเคมีที่นิยมใช้ในการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน เช่น AOA (aminoxy acetic acid) และ AVG (L-2-amino-4(2-aminoethoxy)-trans-3-butenoic acid) การยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ของเอทิลีนโดยใช้ AVG และ AOA พบว่ามีการทดลองเฉพาะบางพืชเท่านั้น เช่น การพ่น AVG ก่อนการเก็บเกี่ยวแอปเปิลจะสามารถชะลอการสุกได้ การยับยั้งการสุกของสตீ และ การยืดอายุการปักแจกันของดอกไม้บางชนิด เป็นต้น การยับยั้งดังกล่าวเป็นการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนในช่วง SAM เปลี่ยนไปเป็น ACC หรือการใช้โคบอลต์ ( $Co^{2+}$ ) ไปยับยั้งการสังเคราะห์ในช่วง ACC ก่อนที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทิลีน (Abeles *et al.*, 1992) จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าการยับยั้งการสร้างเอทิลีนดังกล่าว สามารถป้องกันได้เพียงการผลิตเอทิลีนที่เกิดจากภายในเท่านั้น แต่ไม่มีผลในการยับยั้งเอทิลีนที่ได้รับจากภายนอก ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายในตลาด

ข.) สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน (ethylene action inhibitors)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานในระดับ receptor ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดย Sisler and Yang (1984) พบว่าสารพวก cyclic olefin บางชนิด เช่น 2,5-norbornadiene ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ แต่ต้องให้อย่างต่อเนื่องจึงจะมีประสิทธิภาพดี และพบว่าความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนสัมพันธ์กับความสามารถในการจับกับ  $Ag^+$  และการมีวงแหวนเป็นองค์ประกอบของสารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เช่น cis-butene และ cyclopentene (Sisler and Yang, 1984) และสารประกอบพวก heterocyclic สามารถแสดงคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ Sisler and Serek (1997) พบว่าสารประเภท cyclopropenes บางตัว สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และอีกหลายชนิดไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้

สารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในระดับ receptor ของเอทิลีนที่น่าสนใจในปัจจุบัน ได้แก่

1. 2,5-Norbornadiene (2,5-NBD) เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (จุดเดือด 89 องศาเซลเซียส) ออกฤทธิ์ในสถานะก๊าซ เป็นสารยับยั้งการทำงานของ receptor กลุ่มแรกที่ค้นพบ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ต้องใช้อย่างต่อเนื่องและระดับความเข้มข้นที่ใช้ต้องสูงกว่าปริมาณเอทิลีนในบรรยากาศในสภาวะนั้น ๆ นอกจากนี้สารชนิดนี้ยังเป็นพิษ มีกลิ่นเหม็น

มีคุณสมบัติในการกัดกร่อน และที่ความเข้มข้นสูงอาจกระตุ้นการผลิตเอทิลีนได้ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับผลิตผลทางการเกษตรมากนัก (Sisler and Serek, 1999)

2. Trans-cyclooctene มีสถานะเป็นของเหลว (จุดเดือด 75 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 100 torr) ออกฤทธิ์ในการยับยั้งการตอบสนองต่อเอทิลีนได้ดีในสถานะก๊าซ โดยระดับความเข้มข้นที่ใช้น้อยกว่า 2,5-NBD แต่ไม่นิยมนำมาใช้ทางการค้าเนื่องจากการสังเคราะห์ยุ่งยาก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งในช่วงระยะเวลาสั้นและมีกลิ่นเหม็น (Sisler and Serek, 1999)

3. Diazocyclopentadiene (DACP) มีสถานะเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร (จุดเดือด 52-53 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 50 torr) สามารถจับกับตัวรับได้ดี แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน เมื่อใช้แสง fluorescent จะเปลี่ยนรูปเป็นสารที่สามารถยับยั้งการตอบสนองต่อเอทิลีนได้ แต่ไม่นิยมนำมาใช้ทางการค้า เนื่องจากสามารถเกิดระเบิดได้เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น วิธีการเก็บรักษายุ่งยาก ต้องเก็บในสารละลาย pentane หรือสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ (Sisler and Serek, 1999)

4. Silver thiosulphate (STS) จัดว่าเป็นตัวยับยั้งที่มีประสิทธิภาพ เป็นสารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมดอกไม้ในปัจจุบัน ซึ่งข้อจำกัดของ silver คือ ทำให้เกิดของเสียที่กำจัดยาก และสามารถสร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อมได้ (Sisler and Serek, 1999) ดังนั้นจึงทำให้หลายประเทศประกาศห้ามใช้ silver thiosulphate (STS) หรือ silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) คุณสมบัติยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทิลีน โดยอนุมูลเงินจะเข้าไปแทนที่หมู่โลหะที่บริเวณ active site ของ เอทิลีนภายในโมเลกุลของตัวรับ จึงทำให้เอทิลีนไม่สามารถรวมตัวกับตัวรับ ส่งผลให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ (Magid *et al.*, 1971) ดังนั้นโลหะเงินจึงสามารถยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนแบบ autocatalysis ที่ถูกชักนำโดยเอทิลีนได้

5. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) ในปัจจุบันพบว่า มีการใช้สาร 1-MCP ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่ม cyclopropene มีโครงสร้าง cyclic olefin ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในผลิตผลหลายชนิดทั้งในไม้ดอกและผลไม้สด ในระยะแรกมีการนำ 1-MCP มาใช้ในการยืดอายุการปักแจกันของดอกไม้ที่มีความไว (sensitive) ต่อเอทิลีน เช่น คาร์เนชั่น (Sisler *et al.*, 1996) สแนปดอก (Nel *et al.*, 1999) พบว่า 1-MCP มีผลต่อการผลิตเอทิลีนและการทำงานของเอทิลีน ทำให้สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของดอกไม้ได้ ในระยะ 4-5 ปีที่ผ่านมา พบว่ามีการนำ 1-MCP มาใช้ร่วมกับผลิตผลสำหรับบริโภคหลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล (Fan *et al.*, 1999) สตรอเบอร์รี่ (Ku *et al.*, 1999) บร็อคโคลี่ (Ku and Wills, 1999) ส้ม (Porat *et al.*, 1999) อะโวคาโด (Abeles *et al.*, 1992) และกล้วย (Golding *et al.*, 1998) ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลเหล่านี้ได้



## 2.5 สาร 1- methylcyclopropene (1-MCP)

สาร 1-MCP มีชื่อทางการค้าว่า Smartfresh™ (สำหรับผักและผลไม้) หรือ EthylBloc™ (สำหรับดอกไม้) จัดทะเบียนการค้าเป็น Biotechnology for Horticulture ภายใต้การควบคุมของ Agrofresh Inc. สาร 1-MCP เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นโดยบริษัท Rohm and Haas ซึ่งจากเอกสารแนะนำของบริษัทมีรายละเอียดเกี่ยวกับสาร 1-MCP ว่าเป็นสารประกอบที่เกิดจากกระบวนการ decomposition ของ diazocyclopropene มีโครงสร้างเป็น strained olefin เป็นสารที่ไม่มีพิษ ไม่มีกลิ่น และเสถียรในสภาวะปกติและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม (Blankenship and Dole, 2003) มีลักษณะเป็นผงแป้งสีขาวและออกฤทธิ์ในสภาวะก๊าซ โดยมีค่า active ingredient = 0.16 % คือเมื่อนำมา 1.6 กรัม ละลายในน้ำอุ่น 40 องศาเซลเซียสจะปลดปล่อยก๊าซในอัตรา 1,000 ppb/m<sup>3</sup> ซึ่งสาร 1-MCP จะเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในพืชและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เอทิลีนจะทำงานหรือแสดงอิทธิพลโดยผ่านตัวกลางหรือตัวรับ ดังนั้นเมื่อ 1-MCP จับกับตัวรับของเอทิลีน เอทิลีนจึงไม่สามารถทำงานได้ 1-MCP สามารถยับยั้งผลกระทบจากเอทิลีนทั้งภายในและภายนอกผลิตผล จากรายงานของบริษัท Rohm and Haas สามารถสรุปข้อมูลเกี่ยวกับสาร 1-MCP ได้ดังนี้ (Rohm and Haas Co.Ltd., 1999)

1-MCP จะทำหน้าที่ในการจับกับตัวรับของเอทิลีน ดังนั้นจึงมีผลในการยับยั้งหรือขัดขวางการทำงานของเอทิลีนจากแหล่งภายในและภายนอกได้ เนื่องจาก 1-MCP สามารถจับกับตัวรับเป็นระยะเวลา นานมากกว่าเอทิลีน โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) และพบว่า 1-MCP มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นต่ำในช่วงหนึ่งในพันล้านส่วน (ppb) ซึ่งโดยส่วนใหญ่การตอบสนองของ 1-MCP จะปรากฏในลักษณะที่ไม่อาจเปลี่ยนกลับหรือผันคืนได้ (irreversible) เมื่อนำมาใช้กับผักและผลไม้ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาต่ำในช่วง 0-3 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามภายหลังจากการเก็บรักษาในห้องเย็น หากทำการย้ายผักและผลไม้มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส หรือให้มีการสุกที่อุณหภูมิดังกล่าว ผักและผลไม้จะมีการตอบสนองต่อเอทิลีนได้หลังจากที่ระยะเวลาผ่านไป ปัจจุบันกลไกการตอบสนองนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พอจะสรุปได้ว่า 1-MCP มีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการทำงานของเอทิลีนที่ทำให้เกิดการผิดปกติขึ้นในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว (Blankenship and Dole, 2003)

1-MCP สามารถเข้าจับกับตัวรับของเอทิลีน โดยมีผลในการจำกัดหรือขัดขวางการทำงานของเอทิลีนได้ทั้งจากแหล่งภายในและภายนอก จึงทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากในสภาวะปกติการจับกันระหว่างเอทิลีนและตัวรับของเอทิลีนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาขึ้น มีรายงานว่า การจับระหว่างเอทิลีนกับตัวรับจะทำงานผ่านหมู่โลหะที่ประกอบด้วย


สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ซึ่งการจับกันระหว่างเอทิลีนและหมู่โลหะนี้จะทำให้บริเวณตำแหน่ง trans ที่มีการจับมีความไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่โดย ligands อื่น Sisler and Serek (2000) เสนอว่ากระบวนการทำงานของสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านการทำงานของ เอทิลีนเกิดขึ้นอย่างน้อย 2 ขั้นตอน คือในขั้นตอนแรกเอทิลีนหรือสารประกอบจับกับหมู่โลหะ และดึงเอาอิเล็กตรอนออกจากโลหะ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (rearrangement) หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ligands บนหมู่โลหะขึ้น ขั้นตอนที่สองเอทิลีนเกิดการแยกตัวออกจากหมู่โลหะ หรือเป็นการผลัดออกจากกัน โดยที่เอทิลีนจับกับหมู่โลหะของตัวรับเพียงไม่กี่นาที ในขณะที่สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการดำเนินงานของเอทิลีนสามารถจับกับหมู่โลหะของตัวรับได้อย่างน้อยหลายชั่วโมงหรือหลายวันกว่าจะแยกตัวออกจากหมู่โลหะ นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการหลุดออก (leaving time) จากหมู่โลหะจะมีความแตกต่างกันตามชนิดของสารประกอบและพืช เช่น ผลกล้วยที่ได้รับสาร 1-MCP สารนี้จะจับกับตัวรับนานถึง 30 วัน ขณะที่ใบยาสูบเอทิลีนจะจับกับตัวรับเพียง 10 นาทีเท่านั้น

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา และการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของผลไม้ที่เกิดขึ้นยังเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านการแสดงออกของยีนที่ถูกกระตุ้น โดยกระบวนการสุกของผล การแสดงออกของยีนดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากการจับกันระหว่างเอทิลีนและตัวรับที่ทำให้เกิดการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ kinase ซึ่งไปทำหน้าที่ในการย้ายหมู่ phosphate ให้มาเกาะกับโปรตีนที่ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนอง (response regulator protein) และทำให้เกิดการปลดปล่อย ligands ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่จับอยู่กับ receptor ligands ที่ถูกปลดปล่อยออกจาก response regulator protein จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณไปยังนิวเคลียสเพื่อกระตุ้นให้เกิดการ transcription ของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การ transcription ของยีนจะทำให้มีการผลิต mRNA สายใหม่ เพื่อสังเคราะห์โปรตีนและเอนไซม์ โดยจะถูกส่งไปยังเนื้อเยื่อเป้าหมายเพื่อทำให้เกิดการตอบสนองขึ้น ดังนั้นการใช้ 1-MCP จึงอาจมีผลในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนซึ่งมีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องต่อกระบวนการสุกของผลไม้ จึงชะลอการสุกของผลไม้ต่าง ๆ

Macnish *et al.* (2000) ศึกษาผลของ 1-MCP ในช่วงระดับความเข้มข้น 0-15 ppm ที่มีต่อผลกล้วยหอมพันธุ์ Cavendish ที่ได้รับเอทิลีน 100 ppm พบว่า ผลกล้วยที่ได้รับ 1-MCP 15 ppm สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 4.4 เท่า และ 1-MCP ทุกระดับความเข้มข้นที่ใช้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ ซึ่ง Macnish *et al.* (2000) อธิบายว่า 1-MCP สามารถจับกับ ethylene binding site ได้แบบ irreversible แต่ผลกล้วยที่ได้รับ 1-MCP สามารถสุกได้เนื่องจากการสังเคราะห์ ethylene binding site ชนิดเดิมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า 1-MCP ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 ppb สามารถ

ชะลออัตราการหายใจและการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือกของกล้วยได้ หลังได้รับเอทิลีน 10 ppm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และ Blankenship and Dole (2003) รายงานเช่นเดียวกันว่า 1-MCP เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในระดับ receptor แบบ competitive inhibitor และจับกับตัวรับแบบ irreversible

#### คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของ 1-MCP

- ชื่อทางเคมี : 1-methylcyclopropene
- ชื่อทางการค้า : SmartFresh™ (สำหรับผักและผลไม้) และ EthylBloc™ (สำหรับดอกไม้)
- โครงสร้างทางเคมี : 
- สูตรโมเลกุล : C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>
- น้ำหนักโมเลกุล : 54
- สถานะ : ก๊าซ

#### ประโยชน์ของการใช้สาร 1-MCP

1. ยับยั้งการทำงานของเอทิลีน
2. ช่วยลดการเสื่อมสภาพของไม้ตัดดอก ผัก และผลไม้
3. ช่วยลดการเกิดสีเหลืองในผักและผลไม้
4. ช่วยลดอัตราการหายใจ
5. ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพที่เกิดจากความผิดปกติทางสรีรวิทยาในผลไม้และพืชหัว

เนื่องจากการเก็บ 1-MCP ในรูปก๊าซซึ่งเป็นเรื่องที่ยากที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงมีการเตรียมสาร 1-MCP ไว้ในรูปของแข็งในลักษณะแป้ง (powder) และเมื่อนำมาผสมกับน้ำ จะปลดปล่อยออกมาในรูปก๊าซ ซึ่งง่ายต่อการใช้ นอกจากนี้สาร 1-MCP ยังเป็นสารประกอบที่ปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดพิษต่อพืช (non-phytotoxic) ดังตาราง 2 และไม่ทำให้เกิดของเสียที่กำจัดยากแม้ว่าจะใช้ในปริมาณมากหรือน้อยก็ตาม จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำสาร 1-MCP มาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลต่อไป (Rohm and Haas Co.Ltd., 1999)

ตาราง 2 ผลของการทดสอบค่าความเป็นพิษของ 1-MCP (Rohm and Haas Co.Ltd., 1999)

Toxicology(formulated product)	Results
Acute oral toxicity in rats	LD <sub>50</sub> > 5000 mg/kg
Acute dermal toxicity in rabbits	LD <sub>50</sub> > 2000 mg/kg
Acute inhalation toxicity in rats	No negative findings
Dermal irritation in rabbits	Non-irritating
Eye irritation in rabbits	Slightly irritating
Dermal sensitization in guinea pigs	Negative
Ames assay	Non-mutagenic
Mouse lymphoma assay	Non-mutagenic
<i>in vivo</i> mouse bone marrow micronucleus assay	Non-mutagenic

### ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ 1-MCP

ในการใช้ 1-MCP เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเพื่อให้มีประสิทธิภาพการใช้สูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ ในการศึกษาลำดับส่วนใหญ่พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้ 1-MCP อยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป ทำให้การใช้ไม่มีประสิทธิผล แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ใช้ก็มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่ใช้ด้วย (Jiang and Joyce, 2002)

2. ความเข้มข้นที่เหมาะสม ความเข้มข้นของ 1-MCP ที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับผลิตผล เช่น ในการเนชั่น พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้คือ 2.5 ppb ในขณะที่ในการใช้กับแอปเปิ้ลอยู่ในระดับ 1 µl<sup>1</sup> จึงจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ (Jiang and Joyce, 2002; Sisler *et al.*, 1996; Fan *et al.*, 1999)

3. ระยะเวลาในการรม ระยะเวลาที่เหมาะสมในการรม 1-MCP อยู่ในช่วง 12-24 ชั่วโมง ระยะเวลาและอุณหภูมิในการรมมีความสัมพันธ์กัน (Ku and Wills, 1999 ; Jiang *et al.*, 1999b) พบว่าในการรมกล้วยด้วย 1-MCP นั้นหากใช้ความเข้มข้นของ 1-MCP ที่สูงขึ้นจะใช้ระยะเวลาการรมที่น้อยกว่าความเข้มข้นที่ต่ำ

4. ระยะพัฒนาและความสุกแก่ของพืช การพัฒนาของพืชแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อ 1-MCP แตกต่างกัน เช่น ใบของพืชตระกูลกะหล่ำจะตอบสนองต่อ 1-MCP มากกว่าส่วนของดอก

5. ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ผลผลิตส่วนใหญ่ต้องได้รับ 1-MCP อย่างรวดเร็วที่สุดเพื่อช่วยให้การใช้ 1-MCP เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ในกล้วย Jiang *et al.* (1999b) รายงานว่าต้องให้ 1-MCP กับกล้วยภายใน 24 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการสุกได้แต่อย่างไรก็ตาม ในผลิตผลบางชนิด เช่น apricot และ plum พบว่าการให้ 1-MCP หลังการเก็บรักษาจะให้ผลดีกว่าการให้ก่อนการเก็บรักษา (Dong *et al.*, 2002) เช่นเดียวกับใน kiwifruit (Kim *et al.*, 2001)

6. จำนวนครั้งในการรม การรม 100 ppb สองครั้งกับผลอะโวคาโดจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีผิวที่เกิดจากการช้ำนำของเอทิลีนได้ดีกว่าการรมเพียงครั้งเดียว (Pesis *et al.*, 2002) นอกจากนี้ในแอปเปิล Redchief พบว่าการรมด้วย 1-MCP หลาย ๆ ครั้งระหว่างการเก็บรักษาจะให้ประสิทธิภาพดี (Mir *et al.*, 2001) แต่อย่างไรก็ตามในบร็อคโคลี่และ pakchoy ที่รมด้วย 1-MCP หลาย ๆ ครั้ง ไม่มีผลแตกต่างจากการรมเพียงครั้งเดียว (Able *et al.*, 2002)

การใช้สาร 1-MCP กับมะม่วงพันธุ์มหาชนกนั้นยังไม่มีข้อมูลงานวิจัยในประเทศไทย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการชะลอการสุกเสียหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์นี้ต่อไป