ผลของการใช้วัสดุบรรจุในการห่อก่อนเก็บเกี่ยวต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 หลังเก็บเกี่ยว

Effects of Preharvest Packaging Materials on Growth and Quality of Mango Fruits cv. Nam Dok Mai No. 4 After Harvest

คำนำ

มะม่วงเป็นไม้ผลเศรษฐกิจ และส่งออกที่สำคัญของไทย เป็นที่ต้องการทั้งตลาดภายใน และต่างประเทศ โดยตลาดส่งออกที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เกาหลีใต้ อินโดนีเซีย ฮ่องกง สิงคโปร์ และจีน จากสถิติข้อมูลการค้าระหว่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2548 มะม่วงสดของไทย มีปริมาณการส่งออก 8155.3 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่า 182.2 ล้านบาท และในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม ปี 2549 พบว่ามีการส่งออกมะม่วง 86.8 ล้านบาท ซึ่งมีอัตราการส่งออกสูงกว่าช่วงเดือนเดียวกันในปี 2548 ถึงร้อยละ 55.83 (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2549) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตลาดยังมีความต้องการมะม่วงเป็นปริมาณมาก แต่ปัญหาในการส่งออกของไทยคือ ไม่สามารถผลิตมะม่วงที่มีคุณภาพตามมาตรฐานการส่งออกให้เพียงพอกับความต้องการของตลาดได้ โดยเกณฑ์คุณภาพของมะม่วงในด้าน น้ำหนัก รูปร่าง และคุณภาพสีผิวของมะม่วงเป็นปัญหาสำคัญของมะม่วงส่งออกของไทย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลมะม่วงดังกล่าว ถูกกำหนดด้วยสภาพแวดล้อมเช่น ช่วงคลื่นแสง อุณหภูมิ ความชื้น การดูแลรักษาระหว่างการปลูก และอายุการเก็บเกี่ยวของผล การใช้วัสดุบรรจุที่มีสมบัติเหมาะสมในการคัดเลือกช่วงคลื่นแสงเป็นแนวทางหนึ่งที่ ช่วยพัฒนาคุณภาพของมะม่วง ให้มีคุณภาพตามเกณฑ์คุณภาพสำหรับส่งออกได้ ได้มีการนำวัสดุบรรจุมาใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลไม้ก่อนเก็บเกี่ยวในผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิดเช่น กล้วยหอม (John and Scott, 1989) แอปเปิลพันธุ์ฟูจิ (Arakawa, 1988) องุ่น (Choi *et al.*, 1996) ผลพีช (Desond *et al.*, 2000) ผลแพร์ (Cassandro *et al.*,2002) และ มะม่วง (Joyce *et al.*,1997) เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการห่อเพื่อปกป้องความเสียหายของผลไม้จากนก แมลง ลดสารเคมีตกค้างจากการเกษตร พัฒนาคุณภาพผิวของผลไม้ พัฒนาคุณภาพทางด้าน น้ำหนัก ขนาด รูปร่าง และ ความบริบูรณ์ของผลไม้ โดยวัสดุบรรจุที่มีความเหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพของผลไม้ดังกล่าวต้องมีสมบัติในการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาคุณภาพของผลไม้ เช่น มีสมบัติในการคัดเลือกช่วงคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพของผลไม้ มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ที่เหมาะสมต่อการระบายความชื้นที่เกิดจากการคายน้ำของผลไม้ และ

ความชื้นจากสภาพบรรยากาศ นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ทำวัสดุบรรจุควรมีความทนทานต่อการใช้งาน ราคาถูกและสามารถใช้งานซ้ำได้หลายครั้ง ปัจจุบันมีการนำเข้าวัสดุบรรจุกระดาษเพื่อพัฒนาคุณภาพของมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีการใช้วัสดุบรรจุพลาสติกเพื่อพัฒนาคุณภาพของมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว ซึ่งการใช้วัสดุบรรจุพลาสติกมีข้อดีกว่าการใช้วัสดุบรรจุกระดาษในหลายด้านเช่น วัสดุบรรจุพลาสติกมีสมบัติในการผ่านแสง การเลือกช่วงคลื่นแสงได้ดีกว่า มีราคาถูก มีความแข็งแรงและสามารถใช้งานซ้ำได้มากกว่ากระดาษ ในขณะที่การใช้กระดาษมีข้อดีที่เหนือกว่าพลาสติกคือการระบายความชื้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุบรรจุที่ความเหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ดังนี้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการใช้วัสดุบรรจุในการห่อต่อการเจริญเติบโตของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

2. ศึกษาสมบัติการเลือกช่วงคลื่นแสงของวัสดุบรรจุ (photoselective wavelength)ต่อการเติบโตของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

3. ศึกษาผลของการใช้วัสดุบรรจุในการห่อต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

การตรวจเอกสาร

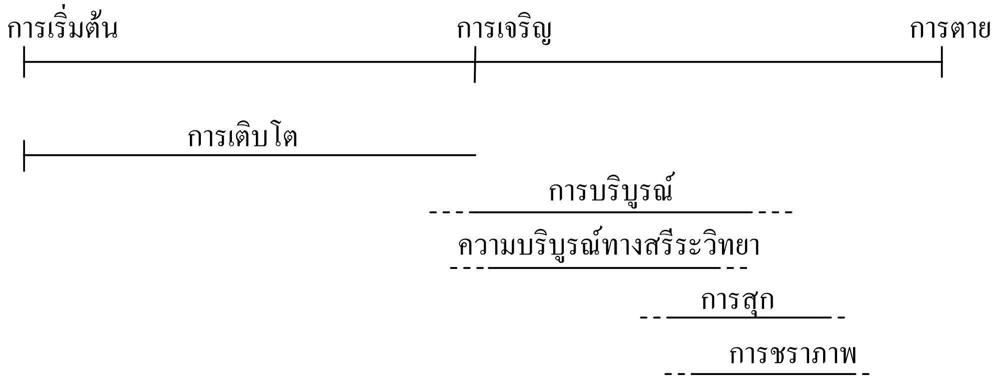
มะม่วงน้ำดอกไม้

ในทางพฤกษศาสตร์จัดมะม่วงอยู่ในวงศ์ อะนาคาร์ดิอาซีอี (Anacardiaceae) หรือวงศ์มะม่วงหิมพานต์ พืชวงศ์นี้ส่วนมากขึ้นอยู่ในเขตร้อน มีแหล่งกำเนิดในประเทศอินเดีย พม่าและประเทศในแถบเอเซียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ไทย พม่า และ มาเลเซีย (Salunkhe and Desai, 1984) มีมากมายหลายสิบพันธุ์ ซึ่งอาจแบ่งเป็นพวกได้ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ คือ มะม่วงสำหรับรับประทานผลดิบ เช่น พันธุ์พิมเสนมัน พันธุ์แรด พันธุ์เขียวเสวย พันธุ์มันหนองแซง พันธุ์ฟ้าลั่น มะม่วงสำหรับรับประทานผลสุก เช่น พันธุ์อกร่อง พันธุ์น้ำดอกไม้ พันธุ์หนังกลางวัน พันธุ์ทองดำ และ มะม่วงที่ปลูกเพื่อการอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ มะม่วงสำหรับดองเช่น มะม่วงแก้ว มะม่วงสำหรับบรรจุกระป๋อง เช่น ทำน้ำคั้น มะม่วงแช่อิ่ม เช่น มะม่วงสามปี เป็นต้น (ประทีป, 2532)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของหลายประเทศ ผู้ผลิตมะม่วงที่สำคัญของโลกคือ อินเดีย จีน ไทย เม็กซิโก ปากีสถาน ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ไนจีเรีย และ บราซิล โดยมะม่วงที่ประเทศไทยส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศส่วนใหญ่เป็นพันธุ์รับประทานผลสุก โดยเฉพาะมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 (วัฒนา, 2530) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ตลาดต่างประเทศมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปีในปริมาณมาก มะม่วงน้ำดอกไม้มีลักษณะประจำพันธุ์คือ ออกดอกดก แต่ติดผลปานกลาง ใช้เวลาตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ประมาณ 115 วัน มีลักษณะผลใหญ่ถึงปานกลาง มีความกว้างประมาณ 7.50 ซม. ยาวประมาณ 16.45 ซม.และหนาประมาณ 6.90 ซม. น้ำหนักประมาณ 300 - 350 กรัม มีผลกลมยาว ด้านขั้วผลอูมค่อยๆ สอบเข้าสู่ปลายผล ปลายผลแหลม ไหล่ผลด้านท้องมน ไหล่ผลด้านหลังลาดลงแก้มผลตื้น เมื่อดิบผิวสีเขียวนวล รสเปรี้ยวจัด เมื่อสุกมีผิวสีเขียวอมเหลืองจนถึงเหลือง รสหวาน เนื้อมีกลิ่นหอม ไม่มีเสี้ยนหรือเส้นใย เมล็ดแบนยาว เนื้อในเปลือกหุ้มเมล็ดเล็ก และมีความอ่อนแอ ต่อการเกิดโรคแอนแทรคโนส (กรมวิชาการเกษตร, 2531; วิจิตร, 2533; ธนะชัย, 2533)

การเปลี่ยนแปลงของมะม่วง

ในวงจรชีวิตของพืชมีการเจริญ (development) เกิดขึ้นตลอดเวลาตั้งแต่เกิดจนตาย ทั้งที่มองเห็นและมองไม่เห็น โดยวงจรชีวิตของพืช เริ่มตั้งแต่ การเริ่มต้น (initiation) ซึ่งอาจเป็นการปฏิสนธิ (fertilization) หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพจากเนื้อเยื่อเจริญก็ได้ จากนั้นการเจริญส่วนใหญ่จะเป็นการเติบโต (growth) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นทางกายภาพอย่างไม่มีการกลับคืนและมีการมีเจริญเกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งการบริบูรณ์ (maturation) จนกระทั่งพืชนั้นมีความบริบูรณ์ทางสรีระวิทยา (physically maturity) ซึ่งเป็นระยะที่พืชมีการพัฒนาตามปกติแม้ว่าจะถูกเก็บเกี่ยวออกจากต้นแล้ว และหลังจากนั้นกระบวนการชราภาพก็จะเริ่มขึ้น ซึ่งแบ่งวงจรชีวิตของพืชออกเป็นช่วงต่าง ๆ (จริงแท้, 2544) ดังภาพที่ 1



<u>ภาพที่ 1</u> วงจรชีวิตของพืชตั้งแต่เกิดจนตาย
ที่มา: Watada *et al.* (1985)

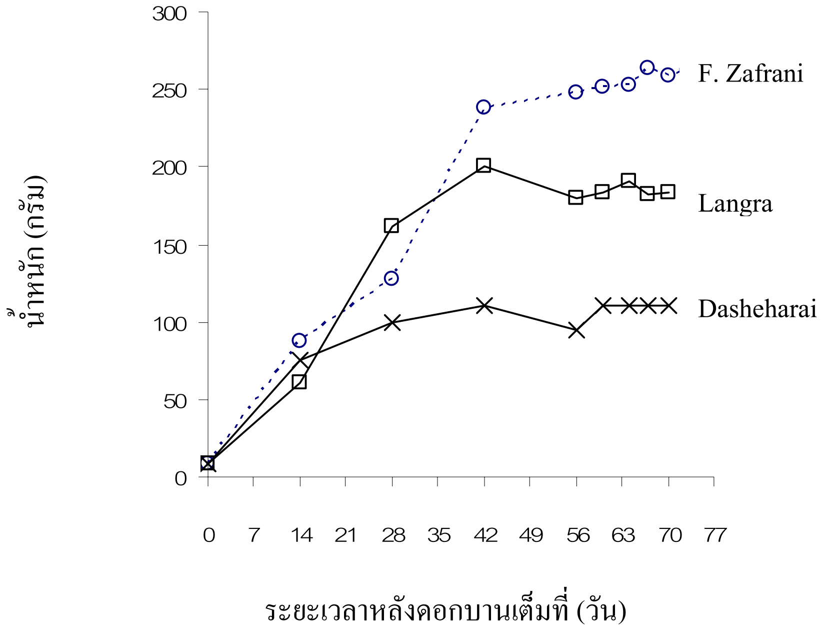
ลักษณะการเจริญเติบโตของมะม่วง

ผลไม้ทั่วไปมีลักษณะการเจริญเติบโต 2 แบบ คือ Simple sigmoid curve และ Double sigmoid curve สำหรับมะม่วงจัดเป็นผลไม้แบบ fleshy drupe แต่มีการเติบโตแบบ simple sigmoid curve ดังภาพที่ 2 (สมพร, 2524; ดวงตรา, 2526; Singh and *et al*., 1971; Ram and Pal, 1979; Nanthachai, 1982, Mukerjee, 1959) ซึ่งมีการเจริญเติบโตของผลแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 เกิดขึ้นในระยะ 2 สัปดาห์แรกหลังจากติดผล มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ โดย ระยะนี้ ผลจะมีขนาดเล็กรูปร่างเหมือนถั่วเขียว แต่ละผลมีการเติบโตใกล้เคียงกัน

ระยะที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างสัปดาห์ที่ 3 – 8 หลังจากติดผล ระยะนี้ผลจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีอัตราการเพิ่มความยาวของผลมากกว่าความกว้างและความหนา

ระยะที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ อย่างต่อเนื่อง (Quintana *et al*., 1984) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 9 หลังติดผลจนกระทั่งผลแก่



<u>ภาพที่ 2</u> การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของมะม่วงพันธุ์ F. Zafrani พันธุ์ Langra และ พันธุ์ Dasheharai ในระหว่างการเจริญเติบโต

ที่มา : Mukerjee (1959)

มะม่วงในประเทศไทยส่วนใหญ่ออกดอกในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยที่มะม่วงนั้นจะต้องผ่านความแห้งแล้งและอากาศเย็นอย่างเพียงพอเสียก่อน ผลมะม่วงที่ติดในระยะแรกๆ จะมีขนาดยาวประมาณ 2-6 มิลลิเมตร โดยในระยะนี้ผลมะม่วงมีการแบ่งตัว ยืดตัวของเซลล์ และมีการเจริญของผลในช่วงสัปดาห์แรกๆ เป็นไปอย่างช้าๆ (Singh *et al.,* 1937; Nanthachai, 1982) โดยในระยะนี้มะม่วงจะมีความยาวและความกว้างของผลไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากปฏิสนธิแล้วประมาณ 2 สัปดาห์ ผลมะม่วงจะมีการเจริญทางด้านความยาวมากกว่าความกว้าง และมีการพัฒนาของผลเป็นส่วนของ exocarp mesocarp และ endocarp ซึ่งในช่วงนี้มะม่วงจะมีการพัฒนาของผลอย่างรวดเร็วจนกระทั่งผลมีอายุ 9 สัปดาห์ ซึ่งเป็นระยะที่ endocarp ของผลมะม่วงเริ่มแข็งตัวและมีการเจริญของผลอย่างช้าๆ (Saini *et al.,* 1972)

การวัดความเจริญของผลมะม่วงทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มน้ำหนักของผล การเปลี่ยนแปลงปริมาตรผล การเพิ่มความยาว ความกว้าง ความหนา และเส้นผ่านศูนย์กลางของผล (Goss, 1973) สีและรูปร่างของผล เป็นต้น ซึ่งปกติผลมะม่วงจะใช้เวลาในการเจริญแต่ละช่วงแตกต่างกันไปตามพันธุ์ สภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ และวิธีที่ใช้วัดการเจริญ เช่น ในมะม่วงพันธุ์ Alphoso ใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตตั้งแต่ปฏิสนธิจนกระทั่งผลแก่ ประมาณ 112 วัน (Lakshminarayana *et al.,* 1970) ในขณะที่พันธุ์คาราบาวใช้เวลาประมาณ 84 วัน (Kosiyachinda *et al.,* 1984) เป็นต้น

สำหรับการเจริญเติบโตของมะม่วงน้ำดอกไม้ มีการศึกษาโดยดวงตรา (2526) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มีน้ำหนักและปริมาตรเพิ่มขึ้นช้ามากในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์แรกหลังจากติดผล ต่อมามีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงสัปดาห์ที่ 10 และในช่วงสัปดาห์ที่ 10 -16 กลับเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว โดยในช่วง 11 สัปดาห์แรกหลังติดผล ผลมะม่วงมีปริมาตรสูงกว่าน้ำหนักเล็กน้อย ทำให้ผลมะม่วงมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 และต่อมามะม่วงจะมีน้ำหนักผลสูงกว่าปริมาตร จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ทำให้ผลมะม่วงมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 ส่วนการเจริญเติบโตทางด้าน ความกว้าง ความยาว และความหนาของผลมะม่วง จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงระยะเวลา 3 สัปดาห์แรก หลังจาก นั้นจึงเพิ่มอย่างรวดเร็วจนกระทั่งสัปดาห์ที่ 9 และมีการเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ซึ่งมะม่วงน้ำดอกไม้ จะใช้เวลาในการเจริญเติบโตตั้งแต่ดอกแรกบานจนกระทั่งเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 102 วันหลังดอกแรกบานเต็มที่

การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีของมะม่วงในระหว่างเจริญเติบโต

การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช เป็นจุดเริ่มต้นของการสังเคราะห์ไขมันและโปรตีน (สิรินทร์ และคณะ, 2521) มีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจและเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของพืช คาร์โบไฮเดรตเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กมากจนถึงสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และซับซ้อน แบ่งคาร์โบไฮเดรตออกเป็น 3 ชนิดตามขนาดโมเลกุลคือ

1. โมโนแซคคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 3-8 อะตอมแต่ส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนอะตอม 5-6 อะตอม เช่น กลูโคส ฟรุกโตส และ กาแลคโตส โดยน้ำตาลหลายชนิดในกลุ่มนี้จะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วเป็นโพลีแซคคาไรด์

2. โอลิโกแซคคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไปได้แก่ ไดแซคคาร์ไรด์เช่น ซูโครส มอลโตส ไตรแซคคาไรด์เช่น ราฟฟิโนส เมลิซิโตส โอลิโกแซคคาไรด์ที่สำคัญที่สุดคือ ซูโครสซึ่งพบในเซลล์พืชในปริมาณมากโดยส่วนใหญ่จะสะสมใน parenchyma cell และใช้เป็นอาหารสำรองของพืช

3. โพลีแซคคาร์ไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากได้แก่เซลลูโลสและแป้ง เซลลูโลสมีความสำคัญโดยเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช สำหรับแป้งเป็นอาหารสำรองที่มีมากที่สุดในพืช (Salisbury and Ross, 1992)

นอกจากนี้ยังแบ่งคาร์โบไฮเดรตออกเป็น 2 พวกใหญ่ตามหน้าที่ คือ คาร์โบไฮเดรตที่พืชสะสมไว้เป็นอาหาร (non-structural carbohydrate) และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) โดยคาร์โบไฮเดรตที่พืชสะสมไว้เป็นอาหารที่สำคัญได้แก่ แป้ง อินนูลิน ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งพืชจะใช้เป็นแหล่งพลังงาน ขณะที่คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างได้แก่เซลลูโลสซึ่งพืชใช้คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างนี้ในการเจริญเติบโต (Kramer and Kozelowski, 1979)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พืชสะสมไว้เป็นอาหารโดยพืชจะใช้เป็นแหล่งพลังงาน มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบค่อนข้างมาก โดยการศึกษาของ Lakshminarayana *et al* .(1970) พบว่า มะม่วงพันธุ์ Alphonso มีการสะสมแป้งเพิ่มขึ้นในระหว่างการเจริญของผลจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 30 ในระหว่างการเจริญของผล จากการศึกษามะม่วงในพันธุ์อื่นๆ พบว่ามีเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งเช่นเดียวกัน เช่น มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์หนังกลางวันจะมีปริมาณแป้งในเนื้อผลเพิ่มมากขึ้นหลังจาก 9 สัปดาห์หลังดอกบานเต็มที่ซึ่งสอดคล้องกับช่วง endocarp และเซลล์หยุดการแบ่งตัว (Saini *et al*., 1972) และเริ่มคงที่เมื่อมะม่วงพันธุ์หนังกลางวันมีอายุ 90 วันหลังดอกบานเต็มที่ และมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้มีอายุ 85 วันหลังดอกบานเต็มที่ (สุมาลี และ คณะ, 2524) การเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งนั้นมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว (สมบัติ, 2533) โดยปกติมะม่วงจะสะสมแป้งมากขึ้นตามอายุการเจริญเติบโต โดยเมื่อผลมะม่วงเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ทางสรีระวิทยาแล้วพืชจะหยุดหรือชะลอกิจกรรมการสะสมแป้ง ทำให้น้ำหนักแห้งคงที่ ซึ่งเป็นช่วงการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม สุมาลีและคณะ (2524) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มีการสะสมของแป้งและน้ำ หนักแ ห้งคงที่เมื่ออายุ 85 วันหลังดอกบานเต็มที่ สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในผลมะม่วงระหว่างการเจริญของผล พบว่ามะม่วงมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลประเภท นอนรีดิวซิ่ง เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงอายุที่เก็บเกี่ยวได้ ส่วนน้ำตาลประเภทรีดิวซิ่ง มีปริมาณค่อนข้างคงที่หรือลดลงเล็กน้อยตลอดช่วงการเจริญของผล (Singh *et al*., 1973) เช่น มะม่วงพันธุ์ Deshahari มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งผลบริบูรณ์ (Fuchs *et al*., 1950) ขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Soluble solids; SS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงกรด

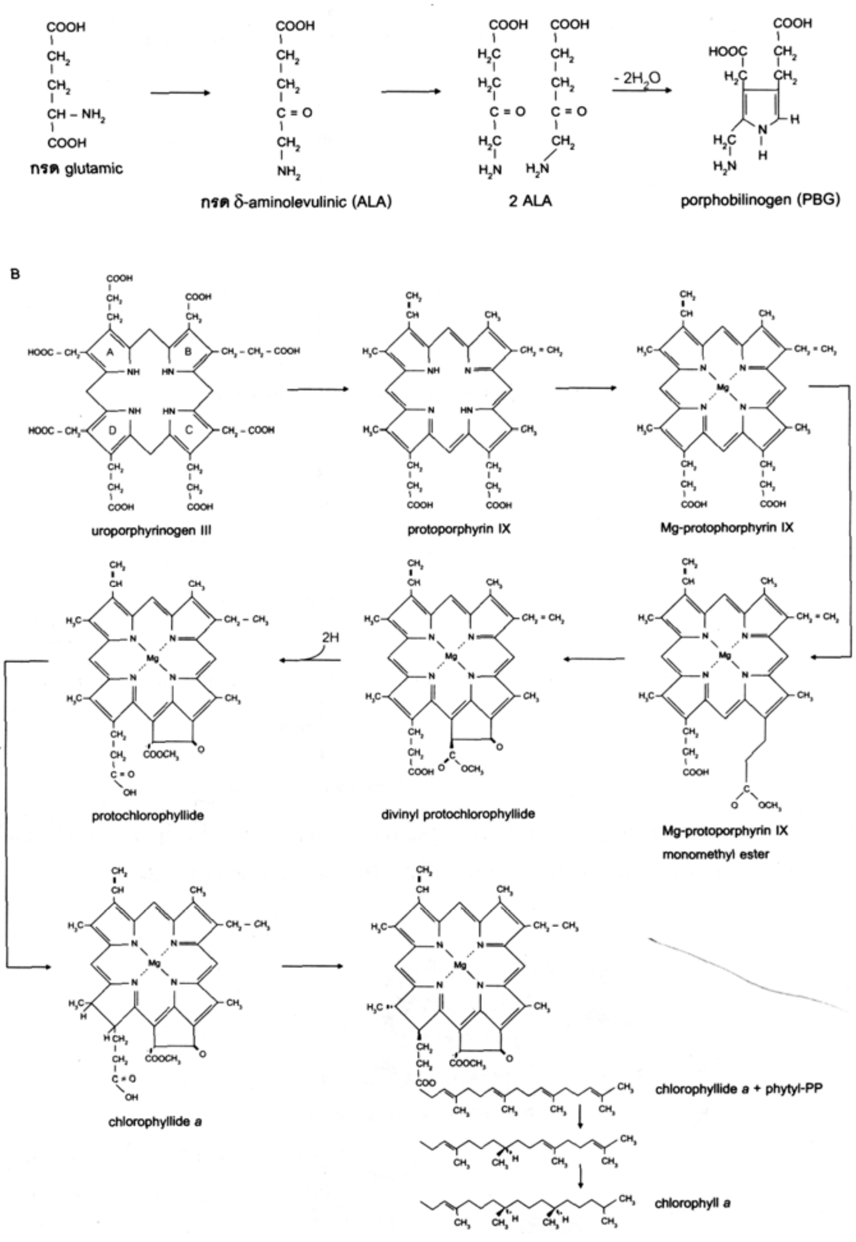
ผลไม้มีกรดหลายชนิดเช่น กรดซิตริก กรดมาลิค และ กรดแอสคอบิก เป็นต้น ปกติกรดอินทรีย์ในพืชจะพบในขั้นตอนต่างๆในวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ และยังเป็นสารต้นกำเนิดในการสร้างกรดอะมิโนหลายชนิด กรดในผลไม้เป็นตัวหนึ่งในการให้รสชาติและยังเป็นภูมิคุ้มกันให้กับพืชไม่ให้โรคและแมลงบางชนิดเข้าทำลาย (สายชล, 2528) ปริมาณกรดในผลมะม่วงมักจะวัดในรูปของกรดซิตริกหรือกรดมาลิก เนื่องจากมีปริมาณมากกว่ากรดอินทรีย์อื่นๆ (Subramanyam *et al*., 1975) โดยทั่วไปปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะแรกของการเจริญ และ ค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้อายุ 9 สัปดาห์หลังดอกบานเต็มที่ มีปริมาณกรดร้อยละ 3.66 และในสัปดาห์ที่ 16 มีปริมาณกรดต่ำสุดเป็นร้อยละ 1.19 (ดวงตรา, 2526)

การเปลี่ยนแปลงรงควัตถุ

คลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่สำคัญสำหรับพืช เพราะเป็นสารสีที่รับเอาพลังงานจากแสงแดด แล้วส่งถ่ายต่อไปจนพลังงานนี้เปลี่ยนเป็นพลังงานทางชีวเคมี เพื่อนำมาใช้ในการดำรงชีวิต ในพืชทุกชนิดมีทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และ บี แต่มีในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยคลอโรฟิลล์ที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ จะเกาะเป็นกลุ่มอยู่รวมกับโปรตีนประมาณ 15 ชนิด บนเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ โดยมีกระบวนการเริ่มต้นจากการสร้างกรด δ - aminolevulinic (ALA) จากกรด glutamic จากนั้น ALA จำนวน 2 โมเลกุลจะมารวมตัวกันเป็นวงแหวน pyrrole ที่มีแขนงของกรด Propionic อยู่เรียกว่า porphobilinogen (PBG) (Gross, 1987) ตามด้วยการรวมตัวของวงแหวน 4 วงในลักษณะหัวชนท้ายเกิดเป็น uroporphyrinogen III ซึ่งต่อมาแขนงของวงแหวน pyrrole หรือ porphyrin side chain จะถูกดัดแปลงต่อไป โดยส่วนที่เป็นกรดแอซีติกถูกเปลี่ยนไปเป็นกลุ่มเมทิล ในขณะที่กรด propionic ถูกเปลี่ยนเป็นกลุ่มไวนิล ได้เป็น protoporphyrinogen IX แล้วถูกออกซิไดส์เป็น protoporphyrin IX โดยการดึงเอาอะตอมของไฮโดรเจนออกทำให้โมเลกุลที่ได้มีลักษณะของพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว ต่อมาอะตอมของแมกนีเซียมจึงถูกคีเลตเข้าไปในวงแหวน porphyrin ได้เป็น Mg-protoporphyrin ซึ่งเป็นขั้นตอนจำเพาะขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ต่อมากลุ่ม methyl จะเชื่อมต่อกับ Mg-protoporphyrin ที่แขนงของวงแหวนคาร์บอน ด้วยพันธะเอสเตอร์ได้เป็น Mg-protoporphyin IX monomethyl ester (MPE) จากนั้นแขนงของ Mg-protoporphyrin จะขมวดตัวเป็นวงแหวนได้ divinyl protochlorophyllide และเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่แขนงของวงแหวนบีและในวงแหวนดีได้เป็น chlorophyllide a จากนั้นหาง phytol จึงเข้ามาเชื่อมต่อด้วยพันธะเอสเตอร์ได้เป็นคลอโรฟิลล์ เอ ส่วนคลอโรฟิลล์ บี จะได้จากการที่กลุ่ม methyl ในวงแหวนบีถูกออกซิไดส์เป็นแอลดีไฮด์เป็น chlorophyllide b ก่อนที่จะจับกับหาง phytol (Von Wettstien *et al.*, 1995)

A

B

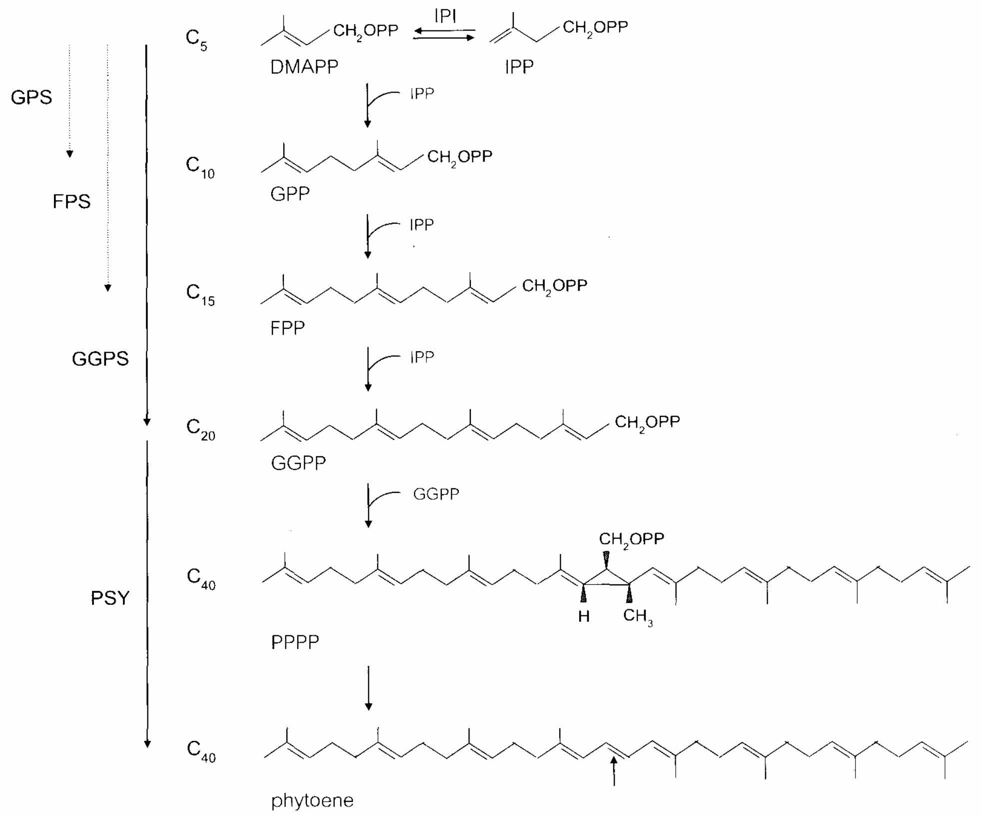


ภาพที่ 3 การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ขั้นเริ่มต้นของการสังเคราะห์จากกรด glutamic จนได้วงแหวน pyrrole ในรูปของ PBG (A) จากนั้น PBG 4 โมเลกุลรวมตัวกันได้ tetrapyrrole แล้วถูกรีดิวซ์เป็น chlorophillide ก่อนที่จะมีกลุ่ม phytol มาเกาะได้เป็นคลอโรฟิลล์ (B)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gross (1987); Von Wettstien *et al.* (1995)

แคโรทีนอยด์เป็นสารสีที่ให้สีเหลือง ส้ม และแดงแก่ส่วนต่างๆของพืช การศึกษาเกี่ยวกับแคโรทีนอยด์ในระยะหลังพบว่า แคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติเป็นตัวต้านออกซิเดชั่น (antioxidant) และเป็นสารที่มีสมบัติในการต้านมะเร็งอีกด้วย แคโรทีนอยด์เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในไขมัน ภายในเซลล์ของพืช แคโรทีนอยด์จึงถูกจำกัดอยู่ภายในออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มล้อมรอบ (พลาสทิด) ที่เรียกว่า โครโมพลาสต์ (chromoplast) โดยทั่วไปแคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบ tetraterpene ซึ่งมีคาร์บอน 40 อะตอม ตั้งแต่ไลโคปีน (lycopene) มีสีแดง แคโรทีน (carotene) มีสีส้ม และ แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) มีสีเหลืองและสีน้ำตาลที่ได้จากการออกซิไดส์ไลโคปีนและแคโรทีน อีกทอดหนึ่ง แคโรทีนอยด์ในพืชที่มีอยู่ทั้งในส่วนของพืชที่มีสีเขียวและส่วนที่ไม่มีสีเขียว โดยแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อสีเขียว จะประกอบกันอยู่กับ photosystem ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานแสงส่วนเกินออกไปเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายขึ้นกับเนื้อเยื่อพืช ในพืชถ้าขาดแคโรทีนอยด์ เช่น แคโรทีน ไลโคปีน และสารอื่นๆ พลังงานแสงจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมามากจนทำให้พืชถึงตายได้

การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์จะเกิดขึ้นในพลาสทิด โดยวิถีสังเคราะห์ isoprenoid ซึ่งเป็นวิถีสังเคราะห์ร่วมกับสารประกอบอื่นๆ เช่น ฮอร์โมน กรดแอบซิสสิก (ABA) รวมทั้ง phytol ที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ โดย วิถีสังเคราะห์ isoprenoid นี้มี isopentenyl pyrophosphate (IPP) เป็นสารประกอบตั้งต้นหลัก ซึ่ง IPP นี้สามารถสร้างขึ้นได้เองจาก acetyl CoA ภายในไซโทพลาสซึม และจาก กรด pyruvate และ Glyceraldehyde -3-phosphate ภาย ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งจากโมเลกุลของ IPP กระบวนการสร้างแคโรทีนอยด์ที่มีคาร์บอน 40 อะตอม จะเกิดขึ้นด้วยเอนไซม์ IPP isomerase ซึ่งเปลี่ยน IPP ไปเป็น DMAPP (dimethylallyl pyrophosphate จากนั้นโมเลกุลของ IPP จะเข้ารวมตัวกับ DMAPP ครั้งละ 1 โมเลกุล จนได้ geranyl geranyl pyrophosphate (GGPP) ซึ่งมีคาร์บอน 20 อะตอม แล้ว GGPP 2 โมเลกุล จึงรวมตัวกันโดยอาศัยเอนไซม์ phytoenesynthase ได้เป็น phytoene ซึ่งมีคาร์บอน 40 อะตอม แต่ยังเป็นสารที่ไม่มีสี ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่มีความจำเพาะสำหรับการสังเคราะห์ แคโรทีนอยด์ ในลำดับต่อๆไปดังภาพที่ 4 (Cunningham and Gantt , 1998)



กำหนด

IPI คือ isopentyl pyrophosphate isomerase DMAPP คือ dimethylallyl pyrophosphate

GPS คือ geranyl phosphate synthase GPP คือ geranyl pyrophosphate

FPS คือ farnesyl phosphate synthase FPP คือfarnesyl pyrophosphate

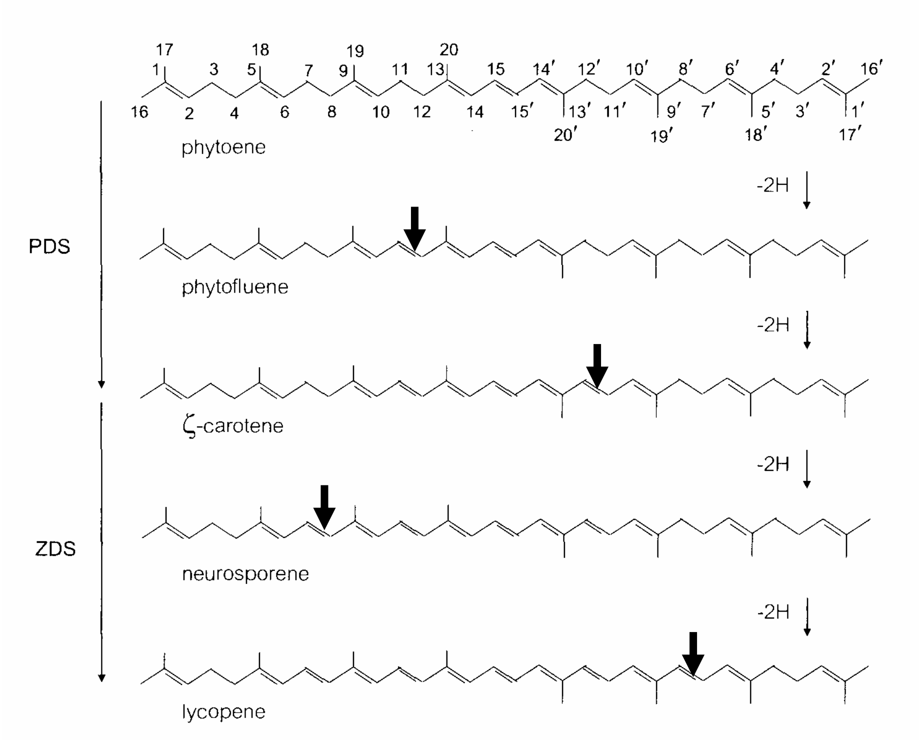
GGPS คือ geranyl geranyl pyrophosphate synthase PSY คือ phytoene synthase

GGPP คือ geranyl geranyl pyrophosphate PPPP คือ prephytoene pyrophosphate

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เริ่มจากโมเลกุลของ isopentyl pyrophosphate (IPP) จนได้ phytoene

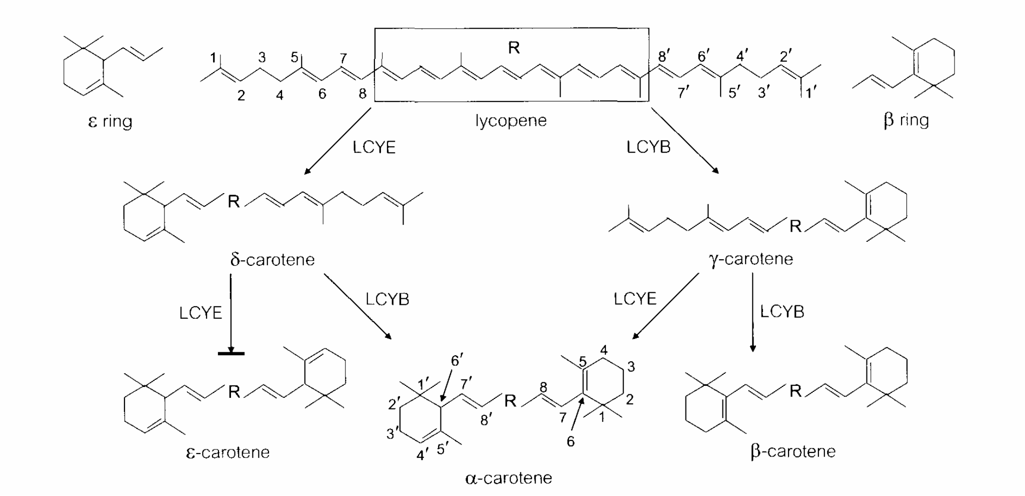
ที่มา: Cunningham and Gantt (1998)

ต่อมา phytoene จะผ่านขั้นตอน desaturation เปลี่ยนพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนอะตอมเป็นพันธะคู่ 4 ครั้งด้วยเอนไซม์ phytoene desaturase (PDS) และ ζ-carotene desaturase (ZDS) ได้ไลโคปีน ดังภาพที่ 5 ซึ่งนับได้ว่าเป็นแคโรทีนอยด์ตัวแรกที่มี chromphore (ส่วนของโมเลกุลที่ประกอบด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวและก่อให้เกิดสี) จากนั้นที่ปลายทั้ง 2 ของโมเลกุลไลโคปีนจะถูกขมวดเป็นวงแหวน ซึ่งอาจเป็นได้ 2 ลักษณะ คือ วงแหวนβ และ ε โดยอาศัยเอนไซม์ lycopene-β-cyclase และ/หรือ lycopene-ε-cyclase ได้เป็น α-carotene ซึ่งมีวงแหวน β และ ε อยู่คนละข้างของโมเลกุล หรือ β-carotene ซึ่งมีวงแหวนβ ring ทั้ง 2 ข้างของโมเลกุล (ภาพที่ 6) อย่างไรก็ตาม หากเอนไซม์ lycopene-ε-cyclase เข้าทำงานที่ปลายโมเลกุลของไลโคปีนข้างหนึ่งก่อนแล้วเอนไซม์นี้จะไม่สามารถเข้าทำงานที่อีกปลายด้านหนึ่ง



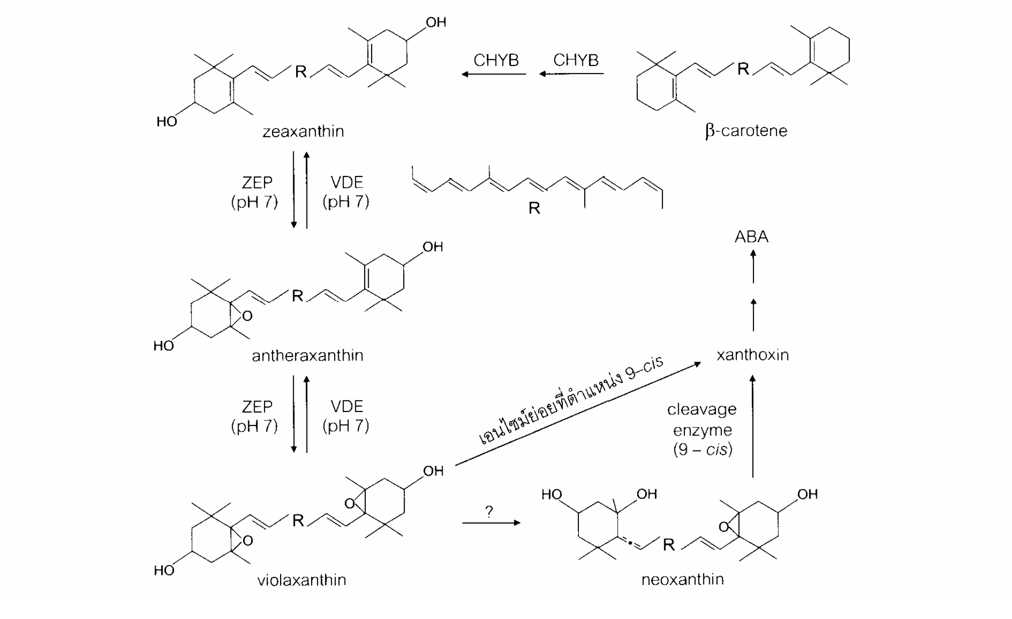
<u>ภาพที่ 5</u> ขั้นตอนการสังเคราะห์ไลโคปีน จาก phytoene แสดงการ desaturation ที่คาร์บอนตำแหน่งต่างๆ (⬇)

ที่มา: Cunningham and Gantt (1998)



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการเปลี่ยนรูปจากไลโคปีนไปเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ

ที่มา: Cunningham and Gantt (1998)



ภาพที่ 7 การสร้างแซนโทฟิลล์ชนิดต่างๆจากเบต้าแคโรทีน และการตัดเปลี่ยนรูปของโมเลกุล
แคโรทีนอยด์เป็น xanthoxin

ที่มา: Cunningham and Gantt (1998)

ในขั้นตอนต่อจากแคโรทีน ทั้งวงแหวน ε และβ อาจถูก hydroxylate ด้วยเอนไซม์ hydroxylase เพิ่มกลุ่ม hydroxy เข้าไปในวงแหวน ε และ/หรือ β ได้เป็นแซนโทฟิลล์ หรือที่เรียกว่า oxygenated carotenoid เพราะมีอะตอมของออกซิเจนเพิ่มเข้ามาเป็นโมเลกุลของ α– และ β–carotene ได้เป็น lutein และ zeaxanthin ตามลำดับ จากนั้นอาจมีปฏิกริยา epoxidation หรือ oxygenation หรือ rearrangement วงแหวนทั้ง 2 ข้างของโมเลกุลจนได้แคโรทีนอยด์อื่นๆต่อไป (ภาพที่ 7) เช่น violaxanthin และ capsanthin ในพริก นอกจากนั้นโมเลกุลของ violaxanthin อาจถูกย่อยออกเป็น 2 โมเลกุลของ xanthoxin ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมน ABA ต่อไป ปฏิกิริยาการสร้างวงแหวนทั้งสองถูกควบคุมด้วยเอนไซม์คนละชนิด ในธรรมชาติจึงพบแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ มากมายและส่งผลให้พืชมีสีสันแตกต่างกัน

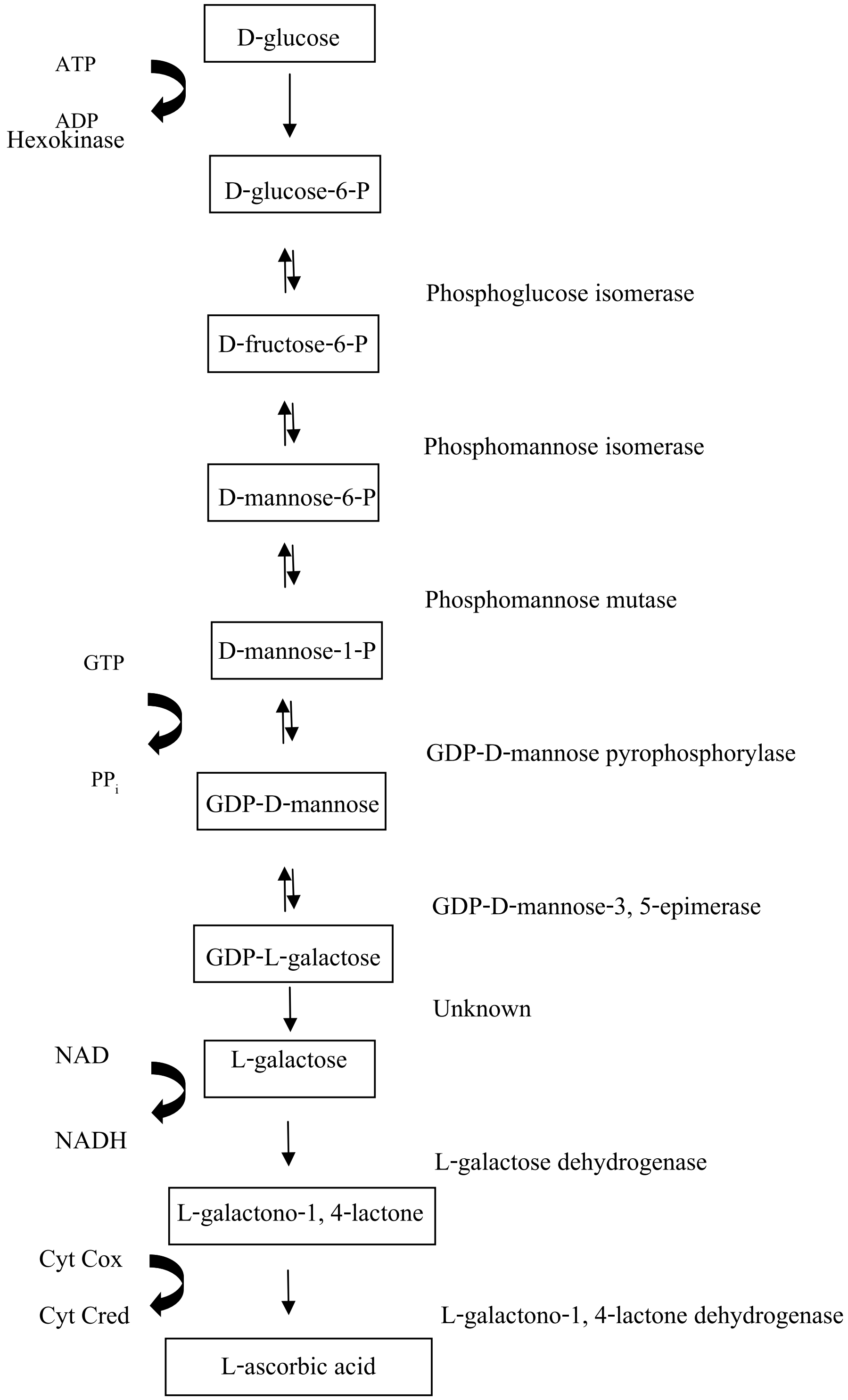
โมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่สังเคราะห์ได้จะเรียกว่า provitamin A เพราะเมื่อคนรับประทานไปแล้วจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ dioxygenase ในลำไส้เล็กได้เป็น วิตามินเอ สำหรับ เบต้าแคโรทีน (β-carotene) ซึ่งมีวงแหวน เบต้าทั้งสองด้านของโมเลกุลจะให้วิตามินเอ 2 โมเลกุล ขณะที่อัลฟาแคโรทีน (α-carotene) จะให้วิตามินเอ 1 โมเลกุล มะม่วงมี ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) ต่ำมากในระยะแรกของการเจริญของผล โดยปริมาณจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อผลอายุมากขึ้นใกล้แก่ (Lakshminaryana, 1970; Hulme, 1971) จากการศึกษาของดวงตรา (2526) พบว่า ปริมาณ เบต้าแคโรทีนในผลมะม่วงน้ำดอกไม้ มีปริมาณต่ำขณะที่ผลมีอายุระหว่าง 84 – 90 วัน และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 93 – 111 วันแล้วลดลงเมื่อผลมีอายุมากกว่า 111 วัน

การเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอบิก

การสังเคราะห์กรดแอสคอบิก มีกระบวนการเริ่มต้นจากการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ D-glucose ไปเป็น D-glucose-6-P จากนั้น D-glucose -6-P เปลี่ยนไปเป็น D-fructose-6-P โดยเอนไซม์ Phosphoglucose isomerase แล้ว D-fructose-6-P จะเปลี่ยนไปเป็น D-mannose-6-P โดยเอนไซม์ Phosphomannose isomerase และ D-mannose-6-P จะย้ายหมู่ฟอสเฟตจากคาร์บอนตำแหน่งที่ 6ไปเป็นตำแหน่งที่ 1 ได้เป็น D-mannose-1-P ซึ่งขั้นตอนต่อมา D-mannose-1-P จะเปลี่ยนไปเป็น GDP-D-mannose โดยเอนไซม์ GDP-D-mannose pyrophos-phorylase แล้ว GDP-D-mannose จะเปลี่ยนไปเป็น GDP-L-galactose โดยเอนไซม์ GDP-D-mannose-3, 5-epimerase ต่อจากนั้น GDP-L-galactose เปลี่ยนไปเป็น L-galactose จากนั้น L-galactose ถูกออกซิไดซ์ได้เป็น L-galactono-1, 4-lactone โดยมีเอนไซม์ L-galactose dehydrogenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนสุดท้าย

L-galactono-1, 4-lactone จะถูกออกซิไดซ์ โดยมีเอนไซม์ L-galactono-1, 4-lactone dehydrogenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็น L-ascorbic acid (Wheeler *et al.,* 1998) ดังภาพที่ 8

ผลมะม่วงที่มีอายุมากขึ้นในระหว่างเติบโตพบว่า ปริมาณกรดแอสคอบิกจะลดลงซึ่งความแตกต่างของปริมาณกรดแอสคอบิก ในผักและผลไม้แต่ละชนิด ยังไม่มีการอธิบายไว้อย่างแน่ชัด แต่พบว่า กระบวนการเจริญเติบโต การตอบสนองต่อความเครียด และสภาพ แวดล้อมอาจจะมีผลต่อปริมาณกรดแอสคอบิกในผักและผลไม้แต่ละชนิด (Burns, 1960) เช่น Todd (2001) ศึกษาพบว่าปริมาณกรดแอสคอบิกมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในแวคิวโอล โดยกรดแอสคอบิกและแคลเซียมออกซาเลตจะเป็นตัวเริ่มต้น (precursor) ที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดออกซาเลต ที่เกิดขึ้นในเซลล์ Crystal iodioblast โดยปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดออกซาเลต จะเป็นการเปลี่ยนรูปของกรดแอสคอบิกที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 (Loewus *et al*., 1999) ดังนั้นการที่ผลไม้มีปริมาณแคลเซียมสะสมลดลงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแอสคอบิกภายในผลไม้ได้



<u>ภาพที่ 8</u> ชีวสังเคราะห์ของกรดแอสคอบิก

ที่มา: Wheeler *et al.,* 1998

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว

การเปลี่ยนแปลงของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ผลต่อคุณภาพของผลไม้ ทั้งนี้เพราะผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ จึงมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีระ เช่น การหายใจและการผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่นการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต รงควัตถุ ปริมาณกรดแอสคอบิก และความแน่นเนื้อ ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงสรีระหลังการเก็บเกี่ยว

การหายใจ

การหายใจ เป็นกระบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิตที่อาหารถูกแปรรูปไปเป็นพลังงาน กระบวนการหายใจเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของอาหารซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน (จริงแท้, 2544) ลักษณะการหายใจของมะม่วงพบว่า มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric (Biale and Young, 1962) มีลักษณะเด่นที่สำคัญของผลไม้ประเภทนี้ คือ มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นขณะที่ผลไม้เริ่มสุก ลักษณะการหายใจที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดก่อนหรือหลังกระบวนการสุกก็ได้ ขึ้นกับชนิดของผลไม้ (Iwata *et al*., 1969) โดยในมะม่วงพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของการหายใจก่อนจะมีการสุกของผล ซึ่งตรวจวัดได้รูปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกมา หรือปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในแต่ละวันภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยจำแนกรูปแบบการหายใจของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวออกเป็น 4 ระยะ (Subramanyam *et al*., 1975) คือ

ระยะที่ 1 Preclimacteric เป็นระยะที่มีอัตราการหายใจต่ำ ผิวผลยังมีสีเขียว และเนื้อผลแข็ง

ระยะที่ 2 Climateric rise เป็นระยะที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ผิวผลยังคงมีสีเขียวและเนื้อยังแข็งอยู่ ช่วงเวลาตั้งแต่เก็บผลจากต้นจนกระทั่งสิ้นสุดระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 2-5 วัน

ระยะที่ 3 Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ผลเริ่มนิ่ม ผิวผลเริ่มเปลี่ยนสี และเริ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อย โดยทั่วไประยะนี้จะเกิดขึ้นประมาณวันที่ 6-10 ภายหลังการเก็บเกี่ยว

ระยะที่ 4 Postclimacteric ระยะนี้มักเกิดขึ้นหลังจากวันที่ 10 เป็นต้นไป เป็นระยะที่อัตราการหายใจของผลเริ่มลดลง และเมื่อลดลงไปแล้วประมาณ 2-3 วัน มะม่วงมีสภาพเหมาะสมที่สุดต่อการรับประทานผลสุก

อายุความแก่อ่อนของมะม่วงมีผลต่อเวลาการเกิด climacteric peak (CP) โดยผลมะม่วงเริ่มนิ่มในเวลาเดียวกับระยะที่มีการหายใจสูงสุด เช่น มะม่วงพันธุ์แรดเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 สัปดาห์หลังดอกบานเต็มที่จะใช้เวลาในการเกิด CP นานถึง 7 วันขณะที่ผลแก่จัดมีอายุการเก็บเกี่ยว 13 สัปดาห์ใช้เวลาเพียง 3 วัน (สมบัติ, 2533) และถ้าปล่อยให้แก่จัดเกินไปจนผลเกือบสุกหรือสุกคาต้นการเกิด CP ของผลจะยิ่งเร็วขึ้นอีก จนบางครั้งอาจพบว่าผลมะม่วงมีการหายใจเฉพาะระยะ postclimateric เท่านั้น (Laksahminarayana, 1973) ธนะชัย (2531) รายงานว่ามะม่วงพันธุ์เขียวเสวยอายุ 11-14 สัปดาห์หลังดอกบานเต็มที่ มีการเกิด climacteric peak 2 ครั้ง โดยครั้งแรกเกิดเมื่อเนื้อผลบริเวณใกล้เปลือกหุ้มเมล็ดเริ่มสุก และครั้งที่ 2 เกิดขึ้นเมื่อบริเวณใกล้ผิวผลสุกและเป็นระยะที่มะม่วงมีคุณภาพเหมาะสมต่อการรับประทานผลสุก

การผลิตเอทิลีน

ก๊าซเอทิลีน เป็นสารฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่ง เป็นสารกลุ่มเดียวที่อยู่ในรูปก๊าซซึ่งสามารถสร้างได้ในทุกส่วนของพืช และมีผลต่อการเติบโตของพืชหลายด้าน เช่น การยืดตัวของเซลล์พืชในส่วนของต้นพืชหรือรากพืช การบวมของพืช การขยายขนาดของใบ และเป็นสารเร่งการชราภาพ (senescence) (พีรเดช, 2543) พืชสร้างเอทิลีนโดยใช้สารตั้งต้นคือ กรดอะมิโนที่มีชื่อว่า methionine จากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ภายในเซลล์ ซึ่งต่อมา methionine จะถูกเปลี่ยนเป็น S-adenosyl methionine (SAM) โดยต่อมา SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น 1 – aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ด้วย ACC synthase สาร ACC นั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนในลำดับสุดท้ายโดยเอนไซม์ที่เรียกว่า ethylene forming enzyme (EFE) หรือ ACC oxidase และอาจถูกเปลี่ยนเป็น malonyl ACC (MACC) ซึ่งค่อนข้างเสถียร (จริงแท้, 2544; Arteca, 1996)

มะม่วงน้ำดอกไม้ จัดเป็นผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับปานกลาง (ระหว่าง 1.0 – 10.0 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ climacteric ชนิดอื่นๆ (Kader, 1985) โดยจะมีการผลิตเอทิลีนสูง 2 ช่วงคือ ในระยะสองสัปดาห์หลังดอกบานเต็มที่อันเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์ และการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของผล จากนั้นจะ

ผลิตลดลงและคงที่ จนกระทั่ง ระยะสุดท้ายของการเติบโตของผล (อุษา, 2543) มะม่วงจะมีการผลิตเอทิลีนสูงอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นผลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกและการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อผลและการหลุดร่วง (Abel *et al*., 1992)

มะม่วงมีรูปแบบการผลิตเอทิลีนที่คล้ายคลึงกับการหายใจมาก (Kader, 1985) โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตเอทิลีน (ethylene rise (ER)) และการเกิด ethylene peak (EP) ในแต่ละผลไม่มีความสัมพันธ์เป็นรูปแบบที่แน่นอน กับการเกิด climacteric กล่าวคือ อาจพบว่าเกิดขึ้นก่อน หรือหลังหรือขณะเดียวกับการเกิด climacteric ของผลก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์มะม่วง เช่นในมะม่วงพันธุ์แรด พบว่าการเกิด ER อาจเกิดขึ้นพร้อมกันหรือเกิดขึ้นก่อนระยะ climacteric rise แต่การเกิด EP พบว่าอาจเกิดขึ้นพร้อมกันหรือภายหลังการเกิด CP ก็ได้ (สมบัติ, 2533)

นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่าเอทิลีนมีความสัมพันธ์กับปริมาณการสังเคราะห์สารพอลิเอมีน (PA) ในพืช ซึ่งพอลิเอมีนเกี่ยวข้องกับการพัฒนาของพืชหลายกระบวนการรวมถึงการพัฒนาของผล (fruit development) (Evans and Malmberg, 1989; Bagni and Torrigiani, 1992) โดยเอทิลีน และพอลิเอมีน มีการใช้ S-adenosylmethionine (SAM) เป็น intermediate ร่วมกัน จึงอาจมีการแข่งขันการใช้ intermediate (Bagni and Pistocchi, 1992) และอาจมีผลต่อการพัฒนาของผล ซึ่งต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีหลังการเก็บเกี่ยว

การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต

ผลไม้ทั่วไปมักสะสมอาหารอยู่ในรูปแป้งและน้ำตาล โดยในผลไม้ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบจำนวนมากเช่น ทุเรียน กล้วย และ มะม่วง มักพบว่าเมื่อผลเริ่มสุกจะมีแป้งลดลงพร้อมกับมีน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยน้ำตาลที่พบในมะม่วงส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และ ซูโครส ซึ่งเป็นผลจากการไฮโดรไลซีสของแป้งและน้ำตาล (spurr, 1970; Mattoo *et al*., 1975) ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ได้แก่ เอนไซม์ amylayse ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส และเอนไซม์ phosphorylase ทำให้โมเลกุลแป้งแตกตัวออกจากกันตรงตำแหน่ง α-1,4 glucosidic ให้เป็นน้ำตาลซูโครส จากนั้นน้ำตาลซูโครสจะถูกไฮโดรไลต์ต่อไปเป็นน้ำตาล กลูโครส และฟรุกโตส โดยเอนไซม์ invertase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Goodwin and Mercer, 1983)

การเปลี่ยนแปลงรงควัตถุ

การเปลี่ยนแปลงสีในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารสี และรูปแบบของออร์แกนเนลล์ที่บรรจุสารสี โดยคลอโรพลาสต์ซึ่งภายในมีทั้งโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นโครโมพลาสต์ หรือเป็น gerontoplast (Salunkhe and Desai, 1984) ที่มีผลทำให้สารสีเขียวคลอโรฟิลล์สามารถสลายตัว (catabolic) ได้ง่ายภายหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะที่สารสีเหลืองแคโรทีนอยด์จะค่อนข้างเสถียรกว่าสารสีคลอโรฟิลล์ เนื่องจากโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อยู่ภายในออร์แกเนลล์พลาสทิด และเกาะอยู่กับโปรตีนบนเยื่อหุ้มหรือรวมตัวกันเป็นผลึกจึงยากต่อการสลายตัวจากปัจจัยภายนอก (Hobson and Davies, 1971) ทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่าเดิมหรือถูกสร้างมากขึ้น การสลายตัวของคลอโรฟิลล์นี้เองมีผลทำให้สารสีชนิดอื่น ๆ เช่นสารสีเหลืองแคโรทีนอยด์ และสารสีแดงแอนโทไซยานิน ในผลไม้ปรากฏเป็นสีเข้มขึ้น และทำให้ผลไม้มีการเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวเป็นสีเหลือง หรือสีแดงเมื่อสุก (จริงแท้, 2544)

การสลายตัวของสารสีเขียวคลอโรฟิลล์ในเปลือกมะม่วง อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน ความร้อนและความเป็นกรดเบส ภายหลังการเก็บเกี่ยว รวมทั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส เอนไซม์ Mg – dechelatase เอนไซม์ Lipoxygenase เอนไซม์ Peroxidase และ เอนไซม์ Oxidase (Matile *et al*., 1999) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส ซึ่งในอดีตมีความเข้าใจว่า เอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส จะเป็นเอนไซม์หลักในการควบคุมการย่อยสลายคลอโรฟิลล์ แต่ในปัจจุบันไม่ปรากฏผลเด่นชัดว่าเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายคลอโรฟิลล์

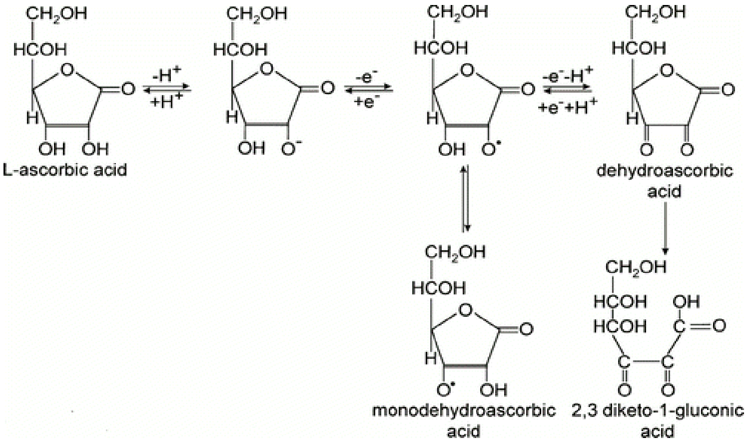
การเปลี่ยนแปลงของสารสีประเภทแคโรทีนอยด์ มีความสัมพันธ์ต่อการสุกของมะม่วง โดยกลไกการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในระหว่างเก็บรักษานั้น ยังมีข้อมูลไม่ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามมีหลักฐานบ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษาผลไม้ไว้นานโดยเฉพาะในผลไม้เนื้อนุ่มเมื่อเยื่อหุ้มของเนื้อเยื่อต่างๆถูกทำลายลงแคโรทีนอยด์ก็จะถูกออกซิไดซ์ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยา isomerization ของแคโรทีนนอยด์ จะทำให้มี cis – isomer มากขึ้น และการเปลี่ยนรูปของแคโรทีนอยด์ ด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ หรือการถูกออกซิไดซ์ด้วยอนุมูลอิสระ ทำให้โมเลกุลของแคโรทีนอยด์ มีขนาดเล็กลงเป็น Apocarotenal และ Ketone จนทำให้สีเหลืองของแคโรทีนอยด์หายไป ขณะที่การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในระหว่างเก็บรักษา จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายหลังการเก็บ

เกี่ยว เช่น การสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหายใจหลังการเก็บเกี่ยว จะช่วยชะลอการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาจนกระทั่งผลสุกให้ลดลง (Smock, 1970) ในขณะที่การให้แสงยูวี (ultra-violet) แก่ผลมะม่วงขณะสุก และการเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ให้สูงขึ้นได้

สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้พบว่า สีผิวและสีเนื้อของผลมะม่วงเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีส้ม ซึ่งประกอบด้วยเบต้าแคโรทีนเป็นส่วนใหญ่ (สายชล, 2528) โดยจากการศึกษาของดวงตรา (2526) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีอายุ 84-90 วัน มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 2,286 ไมโครกรัม/100กรัมของน้ำหนักผลสด และเมื่อมะม่วงมีการสุกเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเป็น 4,770 ไมโครกรัม/100กรัมของน้ำหนักผลสด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Subramanyam *et al.* (1975) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเบต้าแคโรทีน ขณะที่ผลมะม่วงกำลังสุกถึง 10 เท่า โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง

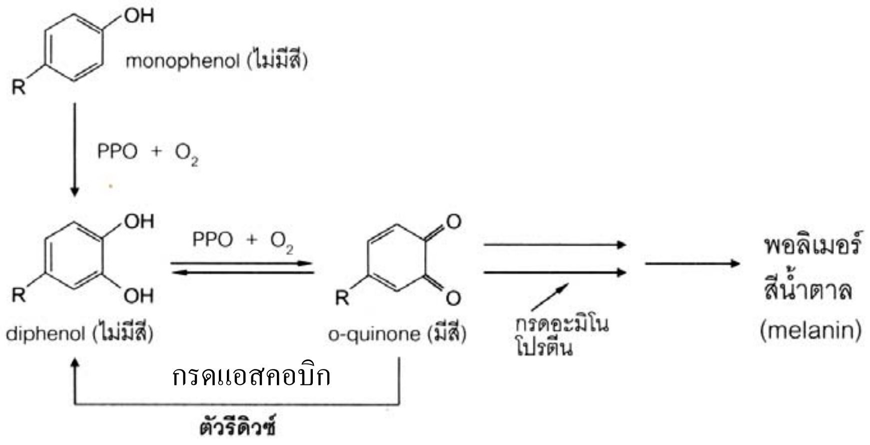
การเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอบิก

ผลไม้มีกรดแอสคอบิกอยู่ด้วยกัน 3 รูปคือ รูปรีดิวซ์ (L-ascorbic acid หรือ AA) ที่อาจถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปออกซิไดซ์ (monodehydroascorbic acids) ซึ่งไม่เสถียรและเปลี่ยนรูปไปเป็น dehydroascorbic acids (DHA) และ DHA จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น 2,3 – diketo – 1 – glutanic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของกรดแอสคอบิกดังภาพที่ 9 ผลมะม่วงจัดได้ว่าเป็นแหล่งสำคัญของกรดแอสคอบิก Singh (1960) รายงานว่าผลมะม่วงสุก 50 พันธุ์ มีปริมาณกรดแอสคอบิกระหว่าง 13 – 178 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด แต่มะม่วงดิบมีปริมาณกรดแอสคอบิกมากกว่ามะม่วงสุก เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนรูปของกรดแอสคอบิกจาก AA ไปเป็น DHA หรือ 2,3 – diketo – 1 – glutanic acid เมื่อผลมะม่วงสุก โดยมะม่วงพันธุ์ Pairi มีปริมาณกรดแอสคอบิกสูงสุดประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม(Siddappa and Bhatia, 1954; Lakshminarayana *et al.*, 1970)



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนรูปของกรดแอสคอบิก
ที่มา: Noctor and Foyer (1998)

กรดแอสคอบิก สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของผลไม้ได้โดยกรดแอสคอบิก มีสมบัติเป็น ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ที่ดีในปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประ กอบฟีนอล โดยการกำจัดเอาควิโนนที่เกิดจาก การกระตุ้นของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งกรดแอสคอบิกนี้จะทำหน้าที่รีดิวซ์ o-quinone กลับไปเป็น diphenol ดังภาพที่ 10 ซึ่งไม่มีสี หรือทำปฏิกิริยากับ o-quinone เปลี่ยนไปเป็นสารอื่นซึ่งไม่มีสีและค่อนข้างเสถียร (Marshall *et al.*, 2000)



ภาพที่ 10 การทำงานของกรดแอสคอบิกในการกำจัดควิโนน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Marshall *et al.*(2000)

การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อพบว่า มะม่วงเมื่อมีอายุผลมากขึ้น ความแน่นเนื้อจะลดลง โดยการนิ่มหรือการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ โดยเปลี่ยน insoluble protopectin ไปเป็น soluble pectin substance โดยการอ่อนตัวของเนื้อมะม่วงเริ่มจากเนื้อเยื่อบริเวณ inner mesocarp ซึ่งอยู่ใกล้กับเมล็ด การอ่อนตัวนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมะม่วงเกิดการสุกมากขึ้น (Mitra and Baldwin, 1997) เพราะปฏิกิริยา pectin depolymerization เริ่มเกิดจากเนื้อเยื่อบริเวณ inner mesocarp ก่อนแล้วจึงเกิดที่ outer mesocarp

คุณภาพของมะม่วง

คุณภาพของมะม่วงขึ้นอยู่กับการปฏิบัติต่อผลมะม่วงก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว โดยระดับคุณภาพของมะม่วง ถูกกำหนดโดย มาตรฐานของผลิตผลมะม่วง เพื่อบ่งชี้มูลค่าของผลิตผล ของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ผลิตปรับปรุงการผลิตให้ได้ผลิตผลมีคุณภาพสูงขึ้นเพื่อผลตอบแทนที่ดีกว่า สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2544) ได้กำหนดมาตรฐานมะม่วงของประเทศไทยเพื่อเป็นข้อกำหนดสำหรับมาตรฐานคุณภาพของมะม่วง โดยมีข้อกำหนดเรื่องคุณภาพดังนี้

1. ข้อกำหนดคุณภาพขั้นต่ำ

มะม่วงทุกชั้นมาตรฐาน ต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้นและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้มีได้ตามที่ระบุไว้

1.1 เป็นมะม่วงทั้งผล สำหรับมะม่วงที่บรรจุในหีบห่อเพื่อการส่งออกถ้ามีขั้วผลติดอยู่ต้องมีความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร

1.2 ลักษณะและคุณสมบัติผลตรงตามพันธุ์

1.3 ผลมีความสด ตามสภาพผลสุกและผลดิบ

- ไม่มีรอยช้ำและไม่เน่าเสียที่จะทำให้ไม่เหมาะสมกับการบริโภค

- สะอาดและปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

- ไม่มีตำหนิที่เห็นเด่นชัด หรือตำหนิที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อภายในผล

- ไม่มีศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล

- ไม่มีความเสียหายของผลิตผลเนื่องจากศัตรูพืช

- ปลอดจากความชื้นที่ผิดปกติจากภายนอก ทั้งนี้ไม่รวมถึงหยดน้ำที่เกิดหลังการนำออกจากห้องเย็น

- ปลอดจากความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ และหรืออุณหภูมิสูง

- ปลอดจากกลิ่นและรสชาติแปลกปลอม หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง

- ผลมะม่วงมีความแก่ได้ที่ คือผลที่สามารถพัฒนาเป็นผลสุกได้ภายหลังเก็บเกี่ยวจากต้น ทั้งนี้เหมาะสมกับพันธุ์และแหล่งปลูก คุณภาพการรับประทานเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและผลอยู่ในสภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง

2. การแบ่งชั้นคุณภาพ แบ่งเป็น 3 ชั้น คุณภาพ ดังนี้

2.1 ชั้นพิเศษ (“Extra” Class)

มะม่วงชั้นนี้มีคุณภาพดีที่สุด มีลักษณะรูปทรง สี และรสชาติตรงตามพันธุ์ ผลปลอดจากตำหนิ ยกเว้น ตำหนิเล็กน้อยที่ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดและไม่มีผลต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลต่อคุณภาพ คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาและการจัดเรียงเสนอในวัสดุบรรจุ

2.2 ชั้นหนึ่ง (Class I)

มะม่วงในชั้นนี้มีคุณภาพดี มีลักษณะรูปทรง สี และรสชาติตรงตามพันธุ์ ผลมีตำหนิได้เล็กน้อยด้านรูปทรง สี และผิว ซึ่งเกิดจากการเสียดสี หรือได้รับแดดจัด และรอยด่างที่เกิดจากยาง โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณ์ ทั่วไปของผล ต่อคุณภาพ และคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในวัสดุบรรจุ ตำหนิที่ผิวโดยรวมต่อผลต้องมีพื้นที่ไม่เกิน 5 ตารางเซนติเมตร 4 ตารางเซนติเมตร 3 ตารางเซนติเมตร และ 2 ตารางเซนติเมตรสำหรับผลมะม่วงขนาด 1 ขนาด 2 ขนาด 3 และขนาด 4 ตามลำดับ จุดสนิม ประปรายและหรือสีเหลืองที่ผิวเนื่องจากได้รับแดดจัดมีได้ไม่เกินร้อยละ 30 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดของแต่ละผล แต่ต้องไม่มีรอยไหม้

2.3 ชั้นสอง (Class II)

ชั้นนี้รวมมะม่วงที่ไม่เข้าขั้นชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพขั้นต่ำดังข้อ 1 มีตำหนิได้เล็กน้อยด้านรูปทรง สี และผิว ซึ่งเกิดจากการเสียดสี หรือได้รับแดดจัด และรอยด่างที่เกิดจากยาง โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลต่อคุณภาพ และคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในวัสดุบรรจุ ตำหนิที่ผิวโดยรวมต่อผล ต้องมีพื้นที่ไม่เกิน 7 ตารางเซนติเมตร 6 ตารางเซนติเมตร 5 ตารางเซนติเมตร และ 4 ตารางเซนติเมตร สำหรับผลมะม่วงขนาด 1 ขนาด 2 ขนาด 3 และขนาด 4 ตามลำดับ จุดสนิม ประปราย และหรือสีเหลืองที่ผิวเนื่องจากได้รับแดดจัดมีได้ไม่เกินร้อยละ 40 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดของแต่ละผล แต่ต้องไม่มีรอยไหม้

3. ข้อกำหนดเรื่องขนาดของผลจะพิจารณาจากน้ำหนัก ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของผลมะม่วงโดยพิจารณาจากน้ำหนัก

รหัสขนาด	น้ำหนัก (กรัม)	ความแตกต่างของขนาดผลสูงสุดในแต่ละวัสดุบรรจุ (กรัม)
1	> 450 100	100
2	351 – 450 50	50
3	251 – 350 50	50
4	150 – 250 50	50

ที่มา: มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 5-2546)

4. ข้อกำหนดเรื่องเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพและขนาดที่ยอมให้มีได้ในแต่ละวัสดุบรรจุสำหรับผลิตผลที่ไม่เข้าชั้นที่ระบุไว้มีดังนี้

4.1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ

4.1.1 ชั้นพิเศษ (“Extra” Class)

ไม่เกินร้อยละ 5 โดยจำนวนหรือน้ำหนักของผลมะม่วงที่มีคุณภาพไม่ เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นพิเศษ แต่เป็นไปตามคุณภาพชั้นหนึ่ง หรือคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคุณภาพชั้นหนึ่ง แต่ผลที่มีร่องรอยของผิวลายอันเนื่องมาจากศัตรูพืชปนมาไม่ได้

4.1.2 ชั้นหนึ่ง (Class I)

ไม่เกินร้อยละ 10 โดยจำนวนหรือน้ำหนักของผลมะม่วงที่คุณภาพไม่ เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นหนึ่ง แต่เป็นไปตามคุณภาพของชั้นสอง หรือคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคุณภาพชั้นสอง

4.1.3 ชั้นสอง (Class II)

ไม่เกินร้อยละ 10 โดยจำนวนหรือน้ำหนักของผลมะม่วงที่คุณภาพไม่ เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นสองหรือไม่ได้คุณภาพขั้นต่ำ แต่ต้องไม่มีผลเน่าเสีย

4.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องขนาด

มะม่วงทุกชั้นมีผลมะม่วงขนาดที่ใหญ่หรือเล็กกว่าในชั้นถัดไปหนึ่งชั้นปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 โดยจำนวนหรือน้ำหนัก แต่ความแตกต่างของขนาดในแต่ละวัสดุบรรจุ ต้องไม่มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมะม่วงในด้านขนาด

รหัสขนาด	เกณฑ์ปกติ (กรัม)	ขนาดที่เล็กหรือใหญ่กว่าเกณฑ์ปกติ (กรัม)	เกณฑ์ความแตกต่างของขนาดผลในแต่ละวัสดุบรรจุ (กรัม)
1	> 450	350- > 550	150
2	351 – 450	301 – 500	75
3	251 – 350	150 – 400	75
4	150 – 250	125 - 300	75

ที่มา: มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 5-2546)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลไม้

Pantastico (1975) ได้แบ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลมะม่วงออกเป็น 2 ปัจจัยคือ ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยวและปัจจัยหลังการเก็บเกี่ยว โดยปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว ได้แก่ สภาพแวดล้อมเช่น แสง และอุณหภูมิ และความชื้น การดูแลรักษาขณะเก็บเกี่ยว เช่น การให้น้ำให้ปุ๋ย การตัดแต่งกิ่ง การใช้สารเคมี และการใช้วัสดุบรรจุในการห่อผล (Mendoza and Suriyapananont, 1984; วิจิตร, 2529) ส่วนปัจจัยหลังการเก็บเกี่ยวได้แก่ วัยของผล วิธีการเก็บเกี่ยว และการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งการเก็บเกี่ยวมะม่วงในระยะเวลาที่เหมาะสม และปฏิบัติต่อผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวอย่างถูกต้อง จะทำให้ได้ผลมะม่วงที่มีคุณภาพดี (สายชล, 2530)

การใช้วัสดุบรรจุในการห่อผล เป็นวิธีหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลไม้ โดยวัสดุบรรจุที่ใช้ห่อผลมีสมบัติที่ช่วยควบคุมปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลมะม่วงในระหว่างเติบโต ซึ่งมีปัจจัยดังนี้

ปัจจัยด้านแสง

แสงอาทิตย์ (solar radiation) มาถึงโลกในรูปแบบของแถบรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะเป็นทั้งคลื่นและอนุภาคที่มีความเร็วเท่ากันแต่แตกต่างกันที่ความถี่และความยาวคลื่นต่างๆ กันเป็นช่วงกว้างๆ ซึ่งมีผลทำให้เกิดระดับของพลังงานที่แตกต่างกันออกไปตามกฎของไอสไตน์ที่ว่าด้วยสมดุลเคมีพลังงานแสงดังสมการที่ 1

$$E = Nhv \qquad (1)$$

โดยกำหนด

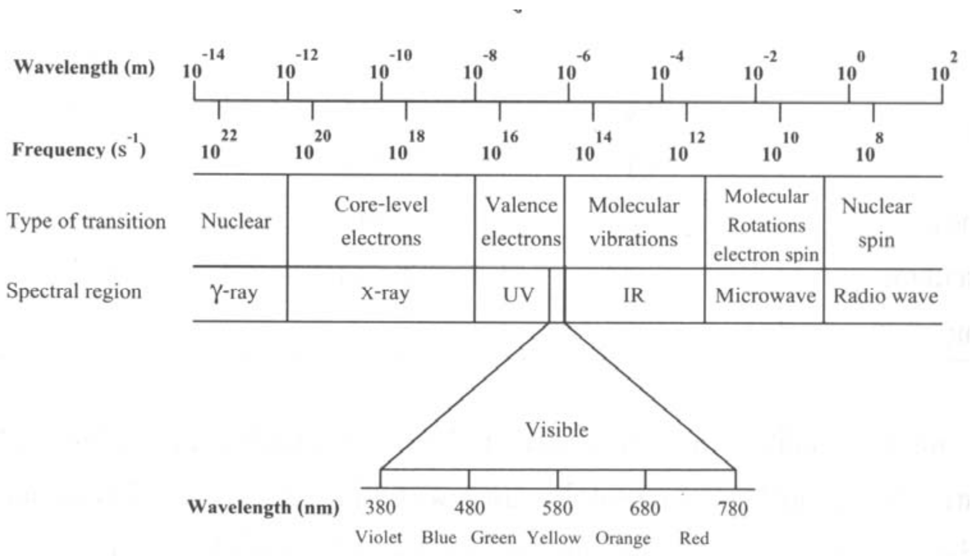
E คือ พลังงานหนึ่งไอสไตน์หรือโมเลกุลของแสง

N คือ เลขอโวกาโด (Avogadro) มีค่า เท่ากับ 6.02×10^{23} quanta

H คือ ค่าคงที่ของพลังค์มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34}

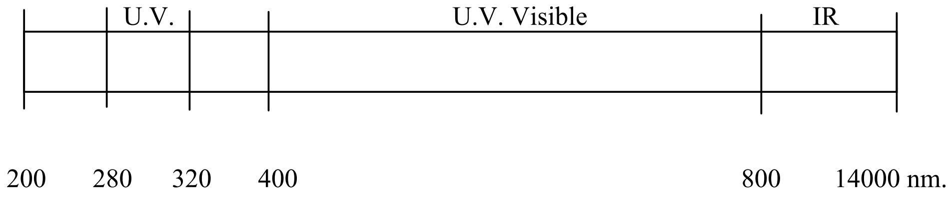
v คือความถี่ของแสง (v = ความเร็วของแสง (c) / ความยาวคลื่นแสง (λ))

โดยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้านั้นประกอบด้วย คลื่นที่มีพลังงานต่ำสุดตั้งแต่คลื่นวิทยุ (ความยาวคลื่นยาวที่สุด) จนไปถึงคลื่นที่มีพลังงานสูงที่สุดคือรังสีแกมมา (ความยาวคลื่นสั้นที่สุด) และเรียกช่วงของพลังงานเหล่านี้ว่า ช่วงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังภาพที่ 11



<u>ภาพที่11</u> ช่วงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา: Skoog *et al.,* 1998

โดยทั่วไปสารเมื่อได้รับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ก็จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารกับกลุ่มโฟตอนของคลื่นแสงที่เป็นลักษณะเฉพาะของสารนั้น โดยพลังงานในรูปความร้อน พลังงานไฟฟ้า คลื่นแสง พลังงานจลน์ของอนุภาค เช่น อิเลคตรอน และพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี จะไปกระตุ้นอะตอมหรือโมเลกุล หรือไอออนของสารที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำหรือสภาวะพื้น (ground stage) ให้ยกระดับพลังงานไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าหรือสภาวะเร้า (excited stage) ซึ่งผลของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารกับกลุ่มโฟตอนของคลื่นแสงจะทำให้แสงบางส่วนถูกดูดกลืน (absorbtion) บางส่วนเกิดการส่องผ่าน (transmission) บางส่วนเกิดการโพลาไรส์ (polarization) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือเรืองแสง (emission) และบางส่วนเกิดการกระเจิงแสงในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง หรือเกิดขึ้นหลายๆรูปแบบในเวลาเดียวกัน แม้ว่าแสงอาทิตย์จะมีความยาวคลื่นที่มีสเปกตรัมกว้างมาก แต่พืชจะสามารถดูดซับช่วงแสงได้ดีเฉพาะบางช่วงเท่านั้น โดยช่วงแสงที่มีผลต่อพืชส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ถึง 14000 นาโนเมตร ซึ่งประกอบไปด้วยโซนของสเปคตรัมในช่วงแสง ยูวีซี (UV-C) ที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ถึง 280 นาโนเมตร ยูวีซี (UV-B) ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ถึง 320 นาโนเมตร ยูวีเอ (UV-A) ที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ถึง 400 นาโนเมตร ยูวีวิสิเบิล(UV-visible) ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ถึง 800 นาโนเมตรและ อินฟาเรด (IR) ที่ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร ถึง 14000 นาโนเมตร ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 สเปคตรัมของรังสีแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อพืช
ที่มา: Gross (1987)

บทบาทของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช

แสงมีความสำคัญต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง โดยพืชจะสร้างอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต จากกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยเปลี่ยนโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ให้เป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งช่วงของคลื่นแสงที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชคือ แสงยูวีในช่วงยูวีวิสิเบิล (400 นาโนเมตร – 800 นาโนเมตร) ซึ่งเป็นช่วงแสงที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสง (photosynthetically active radiation (PAR) โดยพบว่าแสงยูวีในช่วงแสงสีน้ำเงิน (450 นาโนเมตร) และ แสงสีแดง (680 นาโนเมตร) (Lichtenthaler *et al*., 1980) มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงมากกว่าแสงในช่วงคลื่นอื่นๆ เนื่องจาก สามารถถูกดูดซับได้ดี (ดูดซับร้อยละ 90)โดยเม็ดสีคลอโรฟิลล์ โดยมีการศึกษาพบว่ายิ่งความเข้มแสงสีน้ำเงิน และ แสงสีแดง มากขึ้นก็จะกระตุ้นให้เกิดการสร้างเม็ดสีคลอโรฟิลล์ และ อัตราการหายใจของผลไม้ให้มากขึ้น (Buschmann *et al*.,1978) นอกจากนี้ ช่วงคลื่นแสงอื่นๆเช่น แสงในช่วงยูวีบี (280 – 320 นาโนเมตร) มีผลต่อการเจริญของพืชเช่น ทำลายผนังเซลล์ของพืช ลดช่วงระยะเวลาของการสังเคราะห์แสง ยับยั้งการขยายตัวของเซลล์ เป็นต้น

มะม่วงเป็นพืชประเภท C_3 ที่มีการสังเคราะห์แสงของมะม่วงเป็นแบบโค้งอิ่มตัว โดยมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแสงที่พืชได้รับในลักษณะของ Hyperbolic และมีจุดอิ่มตัวของการสังเคราะห์แสงที่จุดอิ่มตัวของแสงประมาณร้อยละ 24 – 40 ของแสงแดดเต็มที่ (Lakso, 1986) โดยจะใช้พลังงานแสงสำหรับการสังเคราะห์แสงเพียงประมาณร้อยละ 5 ของพลังงานแสงที่ได้รับ ส่วนพลังงานที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแก่ต้นพืช (Salisbury and Ross, 1992)

เจษฎา (2540) ศึกษาการสังเคราะห์แสงของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยพบว่า มะม่วงมีการสังเคราะห์แสงของมะม่วงเป็นแบบโค้งอิ่มตัวที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเริ่มอิ่มตัวที่แสงประมาณ 600–800 μ mol $m^2 s^{-1}$ และมี light compensation point ประมาณ 50 μ mol $m^2 s^{-1}$ กระบวนการสังเคราะห์แสงเริ่มต้น โดยเม็ดสีคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์จะเกิดอันตรกิริยากับโฟตอนของแสงโดยดูดซับพลังงานของลำแสง (absorbtion) ที่มีคุณลักษณะของขนาดความยาวคลื่นที่มีความเหมาะสมและให้พลังงานเพียงพอสำหรับใช้ในขับเคลื่อนอิเลคตรอนออกจากเม็ดสีที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาแล้วชักนำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงและเกิดกิจกรรมต่างๆ ของพืช ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดมากขึ้นเมื่อความเข้มของแสงหรือจำนวนของลำแสงที่ตกลงบนพื้นผิวมีมากขึ้น โดยในกระบวนการสังเคราะห์แสงทั้ง photosystem I และ photosystem II (PSI และ PSII) จะประกอบด้วยส่วนย่อยๆ 2 ส่วน ที่ทำหน้าที่ต่างกันโดยส่วนแรกเป็นส่วนของ multiple antennae เป็นส่วนที่ประกอบด้วยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ประมาณร้อยละ 90 ของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดประมาณ 250 โมเลกุล และมีโมเลกุลของสารสีแคโรทีนอยด์ประกอบอยู่ด้วยประมาณร้อยละ 50 โดยทั้งหมดทำหน้าที่เก็บเกี่ยวพลังงานแสงในรูปของอิเล็คตรอนที่ถูกกระตุ้นแล้วส่งถ่ายต่อไปให้ส่วนของ reaction center ซึ่งเป็นส่วนที่สอง โดยในส่วนนี้จะประกอบด้วยส่วนโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอ และโปรตีนเกาะอยู่รวมกันทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากอิเล็คตรอนที่ถูกกระตุ้นในส่วนของ multiple antennae ไปเป็นพลังงานเคมีในส่วนของระบบ PS I และระบบ PS II โดย reaction center ของระบบ PS I จะเป็นกลุ่มของคลอโรฟิลล์เอที่ทำหน้าที่ร่วมกับโปรตีน ในการรับพลังงานแสงช่วงคลื่นแสง 700 นาโนเมตร แล้วเปลี่ยน $NADP^+$ ไปเป็น NADPH ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของอิเล็คตรอน ซึ่งทำให้โปรตรอนถูกดึงออกจากไทลาคอยด์สู่สโตมา และก่อให้เกิดการต่างศักย์ทางไฟฟ้า แล้วใช้ไปในการสร้างพลังงานในรูปของ ATP ซึ่งเรียกการทำงานของคลอโรฟิลล์ในส่วนนี้ว่า light reaction สำหรับ reaction center ของระบบ PS II เป็นกลุ่มของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ซึ่งเกาะอยู่รวมกับโปรตีน ทำหน้าที่รับพลังงานแสงในช่วงคลื่นแสง 680 nm แล้วดึงเอาอะตอมไฮโดรเจนออกจากน้ำ ได้เป็นออกซิเจน โปรตรอน และอิเล็คตรอน แล้วก่อให้เกิดการต่างศักย์ทางไฟฟ้าและใช้สร้างพลังงานในรูปของ NADPH และ ATP เช่นเดียวกัน หลังจากนั้น NADPH และ ATP ถูกใช้ไปใน dark reaction เพื่อการสร้างโมเลกุลของน้ำตาลกูลโคสจากน้ำและ CO_2 ในสโตรมา

คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของมะม่วงจะสัมพันธ์กับการพัฒนาของดอกและผล โดยในขั้นตอนการพัฒนาของดอกและผล มีทั้งการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ โดยการแบ่งเซลล์จะถูกจำกัดโดยอาหารที่สร้างและเคลื่อนย้ายมาจากใบ ส่วนการขยายขนาดของเซลล์

จะถูกจำกัดโดยอาหารที่สะสมในดอกและผลอ่อน (Patrick, 1987) ดังนั้นถ้าอาหารไม่เพียงพอ การพัฒนาของดอกและผลอ่อนก็จะถูกยับยั้งและร่วงไป สมพร (2524) รายงานว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในเนื้อและเมล็ดของผลมะม่วงที่ไม่ร่วงจะมีปริมาณสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในเนื้อและเมล็ดของผลมะม่วงที่ร่วง ขณะที่ Lakshminarayana *et al* (1970) พบว่า ผลมะม่วงจะมีการสะสมแป้งเพิ่มขึ้นในระหว่างที่มีการเจริญและพัฒนาของผล ดังนั้นถ้าผลมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่เพียงพอ ก็ไม่สามารถที่จะมีการเจริญและพัฒนาต่อไปได้ ผลก็จะร่วงในที่สุด

บทบาทของแสงต่อคุณภาพสีผิวของผลไม้

สีในพืชผักและผลไม้ต่างๆเกิดจากสารสี (pigment) ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเซลล์ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ พวกที่ละลายในน้ำ (water soluble) พบในแวคิวโอล ได้แก่ สารสีแดงแอนโทไซยานิน ต่าง ๆ และพวกที่ละลายในไขมัน (lipid soluble) พบในพลาสทิด (plastid) มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น สารสีเขียวคลอโรฟิลล์ เอ(ให้สีเขียวอมน้ำเงิน) และบี (ให้สีเขียวอมเหลือง) สารสีเหลืองแคโรทีนอยด์ และสารสีแดงไลโคปีน (พบมากในมะเขือเทศ) (Goodwin and Mercer, 1983)

แสงเกี่ยวข้องกับการเกิดสีในผลไม้ (Saure, 1990; Combrink *et al*., 1995) โดยช่วงคลื่นแสงที่เหมาะสมมีผลกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารสี (pigment) ต่าง ๆ ได้ เช่น แสงในช่วงยูวีวิสิเบิล 400 – 800 นาโนเมตร มีความจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ และแสงยูวีวิสิเบิล ในช่วง 400 – 500 นาโนเมตร 600 – 800 นาโนเมตร และแสงในช่วงคลื่นยูวีบี ในช่วง 280 – 320 นาโนเมตร มีผลกระตุ้นทำให้เกิดการสร้างแอนโทไซยานินได้มากขึ้นกว่าช่วงคลื่นแสงอื่น ๆ (Arakawa *et al*., 1986) โดยทั่วไปแสงในช่วงยูวีวิสิเบิลไม่มีผลกระตุ้นให้เกิดการสร้างแคโรทีนอยด์แต่สามารถเร่งให้เกิดการสร้างแคโรทีนอยด์ได้มากขึ้น เมื่อให้มีปริมาณที่เหมาะสม (Robberecht, 1989) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาคุณภาพสีของผลไม้ แสดงดังตารางที่ 3

นอกจากปัจจัยด้านแสงแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการสร้างสารสีในผลไม้เช่น การมีไนโตรเจนในปริมาณสูงในระหว่างการปฏิสนธิ (Fertilization) ของผลไม้จะทำให้ผลไม้มีความสามารถในการสร้างแอนโทไซยานินลดลง (Crisosto *et al*., 1997) และกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การ Heat – treatment มีผลทำให้เกิดการสร้างแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นในผลไม้หลายประเภท เป็นต้น (Berardinelli *et al*., 2004)

ตารางที่ 3 ช่วงแสงที่มีผลต่อการพัฒนาคุณภาพสีของผลไม้

สารสี	การเกิดสี	ช่วงแสงที่มีผลต่อการสร้างสารสี (นาโนเมตร)	การถูกทำลาย
แอนโทไซยานิน	แดง , ม่วง : pH < 7 น้ำเงิน : pH = 7	แสงในช่วงยูวีวิสิเบิลมีความจำเป็นต่อการสร้างแอนโทไซยานิน และแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 280 –320, 400 – 500 และ 600 – 800 สามารถกระตุ้นการสร้างแอนโทไซยานิน	แสง ออกซิเจน ความร้อน สภาพความเป็นกรดเบส สารสีอื่น ๆ เช่น คลอโรฟิลล์
แคโรทีนอยด์	เหลือง	แสงในช่วงยูวีวิสิเบิล ไม่มีความจำเป็นในการสร้างแคโรทีนอยด์ แต่แสงในช่วง 280 –320 สามารถูกเร่งให้เกิดการสร้างแคโรทีนอยด์ได้มากกว่าปกติขึ้น	ค่อนข้างเสถียรต่อเวลา และที่สภาวะการเก็บต่าง ๆ
คลอโรฟิลล์	เขียว	แสงในช่วงยูวีวิสิเบิล (400 – 800) มีความจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์	แสง ออกซิเจน ความร้อน สภาพความเป็นกรดเบส มีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์

ที่มา: Bickford (1973)

ปัจจัยด้านอุณหภูมิ

อัตราการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช มีความสัมพันธ์ กับอุณหภูมิ โดยกระบวนการทางสรีระวิทยาจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน ช่วงอุณหภูมินี้เรียกว่า cardinal temperature ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชโดยแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ปัจจัยด้านอุณหภูมิมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ดังนี้

บทบาทของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของพืช

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงในขั้นตอนปฏิกิริยามืด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ โดยการทำงานของเอนไซม์ จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่มีอุณหภูมิเหมาะสม หรือจุดที่การทำงานของเอนไซม์มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งถ้าพืชได้รับอุณหภูมิสูงกว่าจุดนี้ จะส่งผลให้เอนไซม์ถูกทำลายหรือเสื่อมสภาพได้ การสังเคราะห์แสงลดลง โดยทั่วไปพืชแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของการสังเคราะห์แสงต่างกันไป โดยพืชที่อยู่เขตร้อนอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงจะสูงกว่าพืชอบอุ่นหรือเขตหนาว โดยทั่วไปอุณหภูมิในช่วง 10 ถึง 35 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ส่วนต่างๆ ของพืช และระยะการเจริญเติบโตของพืช (Daubenmire, 1974) นอกจากนี้ ถ้าพืชได้รับอุณหภูมิต่ำเกินไป ก็จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีการเจริญเติบโตเลย เรียกอุณหภูมินี้ว่า base line temperature หรือ threshold temperature เช่น base line temperature ในแตงโมและข้าวฟ่างอยู่ในช่วง 15 – 18 องศาเซลเซียส (ปริญญา, 2526) กล้วยอยู่ในช่วง 12 – 13 องศาเซลเซียส (วิจิตร, 2526)

บทบาทของอุณหภูมิต่อความบริบูรณ์ของพืช

ระยะบริบูรณ์ของผลไม้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยสามารถวัดระดับความบริบูรณ์ของพืชได้โดยใช้อุณหภูมิที่วัดในหน่วยความร้อนสะสม (heating unit) คำนวณได้ 2 วิธีคือ direct summation และ exponential วิธี direct summation ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันลบด้วย base line temperature แล้วนำค่ามารวมกันนับตั้งแต่วันปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยว ซึ่งวิธี direct summation ใช้สูตรในการคำนวณดังนี้คือ

$$CDD = \sum \left[\frac{(\text{max. temp.} + \text{min. temp.})}{2} - \text{base line temp.}\right]$$

ส่วนวิธี exponential นั้นจากสมมุติฐานของการเจริญเติบโตของพืชเป็นไปตามกฎของ Van't Hoff และ Arrhenius คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทุกๆ 18 °ฟ ใช้สูตรในการคำนวณดังนี้คือ

$$U = 2^{\left[\frac{(t-40)}{18}\right]}$$

โดยที่ u คือ ปริมาณความร้อนสะสมที่คำนวณได้ในแต่ละวัน

t คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในแต่ละวัน

40 °ฟ คือ base line temperature ของถั่ว

ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้มีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (Katz, 1952)

ดวงตรา (2526) ศึกษาหาดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในเขตอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ปริมาณความร้อนสะสม พบว่าดัชนีเก็บเกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์

น้ำดอกไม้มีปริมาณความร้อนสะสม 815.2 – 1002.7 CDD และมีอัตราส่วนของ soluble solids : acid (SS/TA ratio) มีค่า 6.01-10.10 ในผลดิบ โดยมีอายุผลที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 99 – 111 วัน นอกจากนี้ อาจใช้น้ำหนักแห้งของผลมะม่วงเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวเนื่องจาก ผลมะม่วงที่มีอายุมากขึ้นจะมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความถ่วงจำเพาะมีมากขึ้นตามไปด้วย (สายชล 2533) แต่ค่าความถ่วงจำเพาะได้ใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวสำหรับมะม่วงบางพันธุ์เท่านั้น (Subramanyam *et al*., 1975) ระยะบริบูรณ์ของผลไม้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญของผลไม้ส่งออก การบังคับให้ผลไม้สามารถผลิตได้ก่อนหรือหลังฤดูการผลิต จะทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตมะม่วงให้ทยอยออกสู่ท้องตลาดซึ่งเป็นการป้องกันผลผลิตล้นตลาดและสร้างผลกำไรแก่ผู้ผลิต

ปัจจัยด้านน้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืช น้ำมีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของน้ำในระบบดิน พืช และบรรยากาศ การลำเลียงสารต่างๆ ภายในพืช การคายน้ำ และการเติบโต ซึ่งน้ำมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ดังนี้

บทบาทของน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืช

น้ำเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยผลในทางตรง พบว่า Hydrostatic pressure เกิดขึ้นเมื่อน้ำไหลเข้าสู่เซลล์ ทำให้เซลล์ขยายตัว เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง ซึ่งการเติบโตของเซลล์นี้เป็นกระบวนการที่ไม่ย้อนกลับ คือมีแต่การขยายตัวเพิ่มขึ้นหรือหยุดขยายตัว แต่จะไม่มีการลดขนาดลง อัตราการเจริญเติบโตของเซลล์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการขยายตัวของผนังเซลล์ (wall extensibility) และความเต่ง (turgor pressure หรือ hydrostatic pressure) ซึ่งสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\text{Growth rate} = m(Y_p - Y) \qquad (5)$$

โดยที่ m คือ wall extensibility Y_p คือ turgor pressur

Y คือ yield threshold (Kramer, 1983)

ค่า m คือ ความสามารถในการขยายตัวของผนังเซลล์ ถ้าค่า m ลดลง หมายถึงผนังเซลล์ขยายตัวได้น้อย ซึ่งพบในเซลล์ที่ขยายขนาดเต็มที่ หรือ เซลล์ที่มีผนังเซลล์หนา Y_p คือ ความดันเต่ง และ ค่า Y คือ ระดับความดันขั้นต่ำที่จะดันให้ผนังเซลล์ขยายตัวได้ หากต่ำกว่านี้ผนังเซลล์จะไม่ขยายตัวและเซลล์หยุดการเจริญเติบโต การที่พืชในสภาพขาดน้ำมีการเติบโตช้าเกี่ยวข้องกับความเต่งของเซลล์ที่ลดลงนั่นเอง โดยทั่วไปพืชจะมีอัตราการเจริญเติบโตตอนกลางวันน้อยกว่าตอนกลางคืน เนื่องจากตอนกลางคืนพืชไม่มีการสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นจากการคายน้ำ อีกทั้งในตอนกลางคืนพืชมีการดูดน้ำมาทดแทนน้ำที่เสียไปในตอนกลางวัน ทำให้ความเต่งของเซลล์เพิ่มขึ้น

สำหรับผลทางอ้อมของน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืชพบว่า น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และชีวเคมีต่างๆของพืช รวมทั้งการลำเลียงภายในพืช การขาดน้ำของพืช ทำให้กระบวนการต่างๆ ผิดปกติไป เช่น การขาดน้ำทำให้อัตราการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์โปรตีน และสารอินทรีย์หลายชนิดที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืชจะลดลง มีผลต่อการเพิ่มจำนวนเซลล์ การสร้างผนังเซลล์และส่วนประกอบต่างๆภายในเซลล์ทำให้การเจริญเติบโตช้าลงหรือหยุดชะงักได้ (Nobel, 1991)

สมบัติของวัสดุบรรจุเพื่อการพัฒนาคุณภาพของผลไม้

วัสดุบรรจุสำหรับบรรจุผลไม้ทั่วไปมีหน้าที่ในการรักษาคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเช่น ปกป้องผักผลไม้ไม่ให้ได้รับความเสียหายจากกระบวนการขนส่ง ช่วยลดการกระแทกความช้ำ และช่วยยืดอายุผลไม้เช่นวัสดุบรรจุแอคทีฟ ซึ่งเป็นวัสดุบรรจุที่สามารถควบคุมสภาพบรรยากาศภายในวัสดุบรรจุให้มีความเหมาะสมต่อการยืดอายุและรักษาสภาพผลไม้ได้ นอกจากวัสดุบรรจุสำหรับบรรจุผักผลไม้จะมีหน้าที่ดังกล่าวแล้ว วัสดุบรรจุยังหน้าที่พิเศษของต่อการพัฒนาและรักษาคุณภาพของผลไม้ก่อนการเก็บเกี่ยว โดยงานวิจัยนี้ จะศึกษาผลของการห่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ก่อนการเก็บเกี่ยวต่อการพัฒนาคุณภาพของมะม่วงในด้านต่างๆ ซึ่งวัสดุบรรจุที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพของมะม่วงก่อนการเก็บเกี่ยว ต้องมีสมบัติที่สำคัญดังนี้

สมบัติในการซึมผ่านไอน้ำ

มะม่วงบนต้นจะมีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลา ปัญหาที่พบในการห่อมะม่วงส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจาก วัสดุบรรจุที่ใช้ห่อ มีสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ มีผลจะทำให้ความดันไอ (vapor pressure) ภายในวัสดุบรรจุมีค่าสูงกว่าสภาพบรรยากาศปกติ และทำให้เกิดความชื้นตกค้าง

ภายในวัสดุบรรจุ ซึ่งทำให้เกิดความผิดปกติหลายอย่างเช่น ผลร่วง ผลมีลักษณะบวมน้ำ มะม่วงมีความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ ลดลง เช่น เกิดตำหนิจากโรคแอนแทรกโนส ซึ่งมีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloesporioides Penz* ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากภายหลังการเก็บเกี่ยวในผลไม้หลายชนิด (สนั่น, 2547)

นอกจากนี้ ความชื้นภายในวัสดุบรรจุ ยังมีผลต่อปริมาณแคลเซียมในผลมะม่วง ซึ่งแคลเซียมจะช่วยให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงและเสถียรคงที่อยู่ได้ เนื่องจากสามารถสร้างพันธะในระหว่างกลุ่มของ carboxylic บนแกนโมเลกุลของ pectin (Bangerth, 1979) โดยจากรายงานของ Beverly *et al.* (1993) พบว่า การห่อมะม่วงด้วยวัสดุบรรจุกระดาษทำให้ความดันไอ ภายในวัสดุบรรจุที่มีค่าสูงมีผลทำให้มะม่วงคายน้ำลดลง และทำให้การลำเลียงแคลเซียมจากต้นสู่ผลโดยผ่านท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ลดลง ทำให้ปริมาณแคลเซียมสะสมในภายในผลลดลง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ทำให้เกิดการนิ่มหรืออ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (Grange and Hand, 1987)

วัสดุบรรจุที่เหมาะสมต่อการห่อ ต้องสามารถระบายความชื้นได้อย่างรวดเร็ว วัสดุบรรจุพลาสติกจะมีการยอมให้ความชื้นแพร่ผ่านได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กระดาษ แต่วัสดุบรรจุกระดาษมีต้นทุนการผลิตสูงความแข็งแรงต่ำและสามารถใช้ซ้ำได้น้อยครั้งกว่าการใช้วัสดุบรรจุพลาสติก

การพัฒนาวัสดุบรรจุพลาสติกให้สามารถระบายความชื้นได้มากขึ้น ต้องพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของวัสดุบรรจุ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำวัสดุบรรจุ ความหนาของวัสดุบรรจุ (Lennertsten, 1995; Bosset *et al.*, 1995) ลักษณะโครงสร้างระดับโมเลกุลของวัสดุบรรจุ เช่น ปริมาณความเป็นผลึก และจำนวนปริมาตรอิสระ (free volume) ภายในโครงสร้างส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) ของพอลิเมอร์ (มาลินี, 2546) นอกจากนี้ปัจจัยภายนอกเช่น อุณหภูมิจะมีผลต่อการขยายตัวของพอลิเมอร์เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้พื้นที่ว่างระหว่างอะตอมและโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้นและทำให้วัสดุบรรจุมีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำมากขึ้น

การพัฒนาวัสดุบรรจุให้มีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำมากขึ้น ทำได้หลายวิธีเช่น การเจาะรูพรุนในระดับไมโครเมตร (Perforation) การทำให้พื้นผิวของพลาสติกมีรูพรุน การผลิตวัสดุบรรจุโดย

ใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกคอมโพสิทที่เติมสารเติมแต่งชนิดรูพรุนสูง เพื่อเพิ่มปริมาตรอิสระในโครงสร้าง และการลดความหนาของวัสดุบรรจุ

สมบัติในการเลือกช่วงของคลื่นแสง (selective Wavelength Light)

วัสดุบรรจุพลาสติกมีสมบัติในการผ่านแสงและเลือกช่วงแสงได้ดีกว่าวัสดุบรรจุกระดาษ (Bosset *et al.,*1994) การใช้สารเติมแต่งเพื่อให้เกิดผลในการคัดเลือกช่วงแสงที่ส่งผลกระทบต่อสรีระวิทยาของพืชทำได้โดย การเติมสารที่มีสมบัติในการดูดกลืนแสงและสะท้อนแสงในช่วงยูวี (UV-absorbent, UV-reflector) เช่น การเติมสารเติมผงโลหะออกไซด์ ที่มีสมบัติในการดูดกลืนแสง (Andersen, 1989) ลงในวัสดุบรรจุพลาสติก หรือการเติมสารที่เพิ่มขีดความสามารถในการกักความร้อนของวัสดุบรรจุพลาสติกเช่น การเติมสารกักความร้อนประเภทแร่ หรือการใช้อีวีเอโคพอลิเมอร์ (EVA) ทำให้วัสดุบรรจุพลาสติกมีสมบัติในการเลือกช่วงแสงได้ นอกจากนี้การเติมสารสี (pigment) มีสมบัติในการดูดกลืน (absorb) แสงในช่วงยูวีวิสิเบิลต่างๆ ที่เราไม่ต้องการและผ่านแสง (transmitted) ในช่วงที่ไม่ถูกดูดกลืนหรือช่วงที่เราต้องการออกมาดังตารางที่ 4

<u>ตารางที่ 4</u> ระดับพลังงานของแสงที่เห็นด้วยตาเปล่า (visible light)

สารสี	ขนาดความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนสูงสุด (nm)	ขนาดความยาวคลื่นที่ผ่านได้สูงสุด (nm)	ระดับพลังงาน J / mole	Kcal / mole
แดง	525	700	17.1×10^4	40.87
แดงส้ม	525,495	650	18.4×10^4	43.93
เหลือง	460	600	19.95×10^4	47.68
น้ำเงิน	600	500	23.95×10^4	57.24
ม่วง	585	400	29.93×10^4	71.53

ที่มา : Hall and Rao (1994)

การเลือกช่วงแสงของวัสดุบรรจุ มีผลต่อสมบัติการยอมให้แสงผ่านในแต่ละความยาวคลื่น และ อุณหภูมิภายในวัสดุบรรจุ โดยการยอมให้แสงผ่านในแต่ละความยาวคลื่นบ่งชี้ถึงร้อยละของแสงในแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านจากด้านนอกเข้าสู่ด้านในวัสดุบรรจุ ขณะที่อุณหภูมิภายในวัสดุบรรจุ จะสัมพันธ์กับความสามารถในการกักความร้อนของวัสดุบรรจุ ซึ่งบ่งชี้จากร้อยละของการผ่านคลื่นรังสีอินฟาเรดช่วงคลื่นยาว (Long IR) จากข้างในวัสดุบรรจุออกสู่ภายนอก ดังนั้นยิ่งมีร้อยละของการผ่านคลื่นรังสีอินฟาเรดช่วงคลื่นยาวต่ำยิ่งกักความร้อนไว้ได้ดี

สมบัติในการใช้งานกลางแจ้ง

วัสดุบรรจุที่ใช้ในการห่อต้องมีความทนทานต่อแสง (Light stability) เนื่องจากการใช้งานในภาคสนาม วัสดุบรรจุอาจเกิดการออกซิเดชันจากรังสียูวี ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ (degradation) ซึ่งเมื่อพลาสติกเสื่อมสภาพ ทำให้พลาสติกมีสมบัติเปลี่ยนแปลงเช่น มีสมบัติการผ่านแสงลดลง ส่งผลให้ผลิตผลลดลง และมีสมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงเชิงกล (mechanical strength) และความสามารถใช้ซ้ำได้ ซึ่งการทำให้วัสดุบรรจุที่ใช้ในการห่อมีความทนทานต่อแสง อาจทำได้โดยการเติมสารเพิ่มความเสถียรต่อแสงอัลตร้าไวโอเลต (UV-stabilizer)

ผลของการใช้วัสดุบรรจุในการห่อต่อคุณภาพของผลไม้

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาในการผลิตมะม่วงที่มีคุณภาพตามมาตรฐานการส่งออกได้ไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด ทำให้ต้องมีการศึกษาวิจัยในด้านการเพิ่มผลผลิต การพัฒนาคุณภาพผลผลิต เช่น การพัฒนาเทคนิคการผลิต เพื่อให้สามารถผลิตมะม่วงได้เพียงพอกับความต้องการ และมีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด การห่อผลไม้ด้วยวัสดุที่เหมาะสมเป็นวิธีการหนึ่งที่มีการศึกษาและนำมาใช้ พัฒนาคุณภาพของผลไม้ในด้านต่างๆ โดยทั่วไปการใช้วัสดุบรรจุในการห่อผลไม้ ก่อนการเก็บเกี่ยวมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. พัฒนาคุณภาพผิวของผลไม้ ลดรอยจุด รอยด่างในผลไม้ (Song, 1993) ปกป้องการไหม้ของผิวผลไม้ (sunburn) เนื่องจากแสงอาทิตย์ (Bentley and Viveros, 1992) และพัฒนาสีผิวเช่น การใช้วัสดุบรรจุกระดาษในการพัฒนาสีผิวแอปเปิลพันธุ์ฟูจิ พบว่าแอปเปิลที่มีการเริ่มต้นการห่อหลังจากกลีบดอกร่วงแล้ว 4 – 6 สัปดาห์ จะให้ผลที่มีสีแดงมากกว่าแอปเปิลที่ไม่มีการห่อ (Proctor and Lougheed, 1976; Kubo *et al*., 1988; Arokawa, 1991; Tyas *et al*., 1998) Hofman Peter *et al*.

(1995) พบว่าการห่อมะม่วงด้วยกระดาษสีขาว จะช่วยพัฒนาคุณภาพสีผิวของมะม่วงให้มีความนวลมากขึ้น มากกว่ามะม่วงที่ไม่มีการห่อ เป็นต้น นอกจากนี้มีการนำวัสดุบรรจุพลาสติกมาใช้ในการพัฒนาสีผิวผลไม้เช่น Desond *et al.* (2000) พบว่าการนำวัสดุบรรจุพลาสติกที่มีสมบัติในการสะท้อนคลื่นแสง (reflective film) ในช่วงคลื่นแสงที่เหมาะสมมาใช้ในการพัฒนาสีผิวของลูกพีช มีผลทำให้ลูกพีชมีสีเข้มขึ้นกว่าลูกพีชที่ไม่ได้ห่อ และ Cassandro *et al.* (2002) พบว่าผลของการใช้วัสดุบรรจุพลาสติกพอลิเอทิลีนเจาะรู (Perforate) มาใช้ในการห่อลูกแพร์ ก่อนการเก็บเกี่ยวจะทำให้ลูกแพร์มีสีเข้มขึ้นในขณะที่น้ำหนักของผล ความหนาแน่น ความบริบูรณ์ และปริมาณธาตุองค์ประกอบ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม โปตัสเซียม และแมกนีเซียมไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับลูกแพร์ที่ไม่ได้ผ่านการห่อ สำหรับพัฒนาคุณภาพสีผิวของมะม่วง Joyce *et al.* (1997) พบว่าการห่อมะม่วงด้วยวัสดุบรรจุพลาสติกสีขาวขุ่นสามารถทำให้มะม่วงมีสีเหลืองเข้มขึ้นในขณะที่การห่อผลมะม่วงด้วยวัสดุบรรจุกระดาษสีขาวไม่ให้ผลที่แตกต่างจากที่ไม่ได้ห่อมากนัก

2. ปกป้องความเสียหายของผลไม้จากนก แมลง และลดสารเคมีตกค้างจากการเกษตร (Kitagawa *et al.*, 1992) เช่น การใช้ถุงกระดาษห่อเพื่อป้องกันแมลงในลูกแพร์ (Amerante *et al.*, 2002) กรณีของมะม่วงน้ำดอกไม้จะเริ่มห่อผลด้วยถุงกระดาษ เมื่อผลมีอายุ 45 – 60 วันหลังติดผล ช่วยป้องกันแมลงวันผลไม้และป้องกันการวางไข่ของด้วงงวงเจาะเมล็ดมะม่วงได้โดยก่อนห่อจำเป็นต้องฉีดสารเคมีควบคุมแมลงและโรคเสียก่อน (โกศล, 2527)

3. พัฒนาคุณภาพผลไม้ทางด้าน น้ำหนัก ขนาด และรูปร่างผล เช่น โกศล (2527) พบว่าการห่อมะม่วงด้วยถุงพลาสติกสีน้ำเงิน มีผลต่อการเจริญของผลมะม่วงทำให้มีขนาด และน้ำหนักของผลมากกว่ามะม่วงที่ไม่ได้ห่อประมาณร้อยละ 13 ขณะที่ Johns and Scott (1989) พบว่าการห่อเครือกล้วยด้วยถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนสีน้ำเงิน ทำให้กล้วย มีการพัฒนาขนาด และน้ำหนักที่มากกว่ากล้วยที่ไม่ได้ห่อประมาณร้อยละ 25 และ กล้วยมีคุณภาพเนื้อผลดีขึ้น

4. พัฒนาความบริบูรณ์ของผลไม้ โดยช่วยลดหรือเพิ่มระยะการเก็บเกี่ยวของผลไม้เช่น Choi *et al.* (1996) พบว่าการห่อองุ่นแดงด้วย กระดาษสีดำมีผลช่วยทำให้องุ่นมีสีแดงเข้ม และมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่าองุ่นแดงที่ไม่ได้ห่อ Johns and Scott (1989) ศึกษาเปรียบเทียบการห่อกล้วยหอมแบบปิดปากถุงและเปิดปากถุงด้วยวัสดุบรรจุถุงพลาสติกพบว่า กล้วยหอมที่ห่อแบบปิดปากถุงจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่ากล้วยหอมที่ห่อแบบเปิดปากถุง และ Hofman Peter *et al.* (1995) พบว่าผลของการห่อมะม่วงด้วยวัสดุบรรจุ จะช่วยเร่งระยะบริบูรณ์ของมะม่วงให้เร็วขึ้น

5. เพิ่มคุณภาพในการรับประทาน โดยผลไม้ที่ได้รับการห่อ คุณภาพของเนื้อผลจะดีกว่าไม่ได้ห่อ เช่น การห่อผลกระท้อนด้วยถุงกระดาษ เนื้อผลกระท้อนจะเป็นปุย นุ่ม น่ารับประทาน (วิจิตร, 2533)

จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น การใช้วัสดุบรรจุห่อผลไม้ก่อนการเก็บเกี่ยว จะเป็นแนวทางที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพของมะม่วงได้ ซึ่งการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อจะพัฒนาคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยใช้วัสดุบรรจุที่มีสมบัติในการคัดเลือกช่วงคลื่นแสงที่เหมาะสม ต่อการพัฒนาคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ห่อผลมะม่วงก่อนการเก็บเกี่ยว