บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์มหาชนก

มะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นมะม่วงที่ได้จากการผสมระหว่างมะม่วงพันธุ์ซันเซทกับมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน เป็นพันธุ์ที่เหมาะต่อการส่งออกเนื่องจากมีเปลือกหนา ขนาดผลและรูปทรงสม่ำเสมอ ออกดอกติดผลเร็ว เมล็ดลีบบาง ผลสุกผิวมีสีเหลืองปนแดง เนื้อผลมีสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นหอม รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย เมื่อผลสุกงอมจะมีรสหวานจัด เนื้อไม่เละ (มนตรี, 2542) ลักษณะทั่วไปของมะม่วงพันธุ์มหาชนก มีดังนี้ (ระวี และเปรมปรี, 2542)

1. ใบมีขนาดใหญ่ หนา ใบอ่อนมีสีแดง ปลายใบแหลม ใบแก่มีสีเขียวเข้มแต่ไม่ดำ
2. ลำต้นและกิ่งแข็งแรง มีพุ่มขนาดใหญ่ กิ่งอวบใหญ่และข้อนูน (ภาพ 1)
3. ดอก ช่อดอกใหญ่ ก้านช่อมีสีแดง มีดอกสมบูรณ์เพศสูง ช่วงฤดูกาลที่ออกดอกตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ ทำให้มีช่วงของการเก็บเกี่ยวที่ยาวนานขึ้น (ภาพ 2)
4. ผล ทรงผลยาวคล้ายหนังกลางวัน แต่สั้นกว่า มีขนาดปานกลาง น้ำหนักประมาณ 350-500 กรัม ผลอ่อนสีเปลือกมีสีเขียว เปลือกหนา เนื้อผลดิบมีสีขาวออกเขียวรสเปรี้ยวมาก เมื่อแก่เปลือกผลจะมีสีเขียวและอาจมีสีแดงอยู่ด้วย (ภาพ 3) และเมื่อผลสุกเนื้อมีสีเหลือง-เหลืองส้ม เนื้อละเอียดและแน่น และมีรสหวานอมเปรี้ยว

จากการศึกษาของจุลจิรา (2545) และ สรรพมงคล (2545) พบว่า มะม่วงพันธุ์มหาชนกหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและสีเนื้อของผล โดยเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณเบตา-คาโรทีน อัตราการหายใจ และอัตราการผลิตเอทิลีนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าผลที่มีอายุ 112 วันหลังดอกบาน เป็นระยะที่ผลมีความแก่ที่เหมาะสมและมีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวที่ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 1 ลำต้นและทรงพุ่มของมะม่วงพันธุ์มหาชนก

ภาพ 2 ดอกของมะม่วงพันธุ์มหาชนก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3 ผลของมะม่วงพันธุ์มหาชนก

สีของเปลือกผลไม้ที่ปรากฏอยู่นั้นเกิดจากกลุ่มของสารสี (pigment) ต่างๆ ที่มีอยู่ในเซลล์พืช 3 กลุ่มที่สำคัญได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophylls) คาโรทีนอยด์ (carotenoids) และแอนโทไซยานิน (anthocyanins) (Gross, 1987)

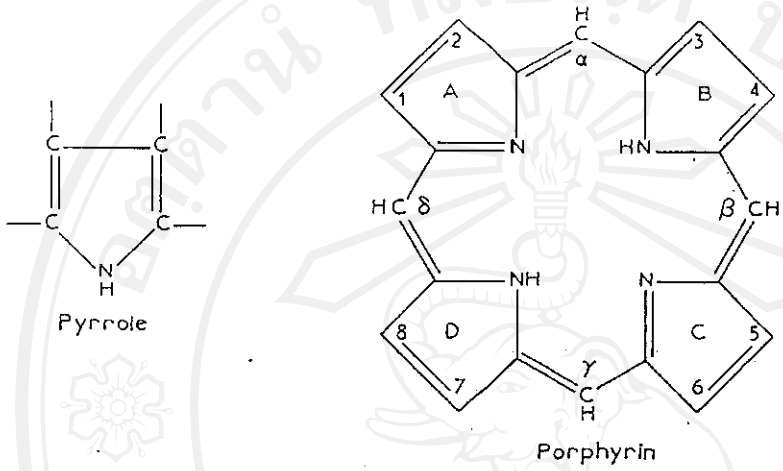
คลอโรฟิลล์ (chlorophylls)

เป็นกลุ่มของสารสีที่มีสีเขียว ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช กระจายตัวอยู่ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งพบในส่วนของไซโทพลาซึมของเซลล์ คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และคลอโรฟิลล์ดี เป็นต้น ในพืชชั้นสูงทั่วไปมีคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เป็นองค์ประกอบที่สำคัญซึ่งพบอยู่ทั่วไปในส่วนที่มีสีเขียว เช่น ใบและผล โดยปริมาณคลอโรฟิลล์อาจมีมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุและส่วนต่างๆของพืชชนิดนั้นๆ (จริงแท้, 2544)

โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ประกอบด้วย ส่วนหัวที่มีอะตอมของแมกนีเซียมล้อมรอบด้วยวงแหวนของคาร์บอนและไนโตรเจน (porphyrin ring) และส่วนหางเป็นโซ่ยาว (phytol) (ภาพ 4) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน 430 นาโนเมตร และสีแดง 660 นาโนเมตร ได้ดีกว่าช่วงคลื่นแสงอื่นๆ และสะท้อนแสงสีเขียวออกมาทำให้เห็นเป็นสีเขียว และเมื่อคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี อยู่รวมกับโปรตีนบนเยื่อหุ้มไทลาคอยด์เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

photosystem I และ II แล้วทำให้มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 700 และ 680 นาโนเมตร ตามลำดับ (จริงแท้, 2549 และ Gross,1987) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีการสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา โดยในระหว่างการชราภาพหรือการการเสื่อมสภาพของพืช การสลายตัวเกิดขึ้นมากกว่าการสร้าง จึงทำให้คลอโรฟิลล์หมดไปในที่สุดซึ่งอาจเกิดร่วมกับการสร้างสารสีชนิดอื่นๆ (ดนัย, 2544)



ภาพ 4 โครงสร้างโมเลกุลของ pyrrole และ porphyrin (Gross, 1987)

การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

กระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ในพืชชั้นสูงใช้ δ-aminolevulinic (ALA) จาก glutamic acid เป็นสารตั้งต้น (precursor) โดย ALA 2 molecules รวมกันเป็นวงแหวน pyrrole 4 วง เรียกว่า porphobilinogen (PBG) โดย 4 molecules มารวมกันแล้วกำจัด NH_3 ออก ได้เป็น uroporphyrinogen III ที่มี acetic acid และ propionic acid อย่างละ 1 ตัว เกาะอยู่ที่ pyrrole ring แต่ละ ring จากนั้น acetic acid side-chains เกิดกระบวนการ decarboxylation เปลี่ยนไปเป็น methyl group และ propionic acid เกิดกระบวนการ oxidative decarboxylation เปลี่ยนไปเป็น vinyl groups ที่ ring A และ ring B ซึ่งต่อมาได้เป็น protoporphyrin IX และรวมตัวกับ Mg ได้เป็น Mg-protoporphyllide IX จากนั้นมีการเปลี่ยนรูปเป็น protoporphyllide ที่มี cyclopentanone ring เป็นลักษณะเฉพาะของคลอโรฟิลล์ และ photochlorophllide เกิดกระบวนการ photoreduction ที่ring D ได้เป็น chlorophyllide a จากนั้นเกิดกระบวนการ esterification ที่ 7-propionic acid และ phytol group โดยมีเอนไซม์ chlorophyllase เป็นตัวเร่งได้เป็นคลอโรฟิลล์เอ โดยมีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลี่ยนแปลงที่ C ตำแหน่งที่ 3 โดยเปลี่ยนจาก CH_3 group เป็น CHO group ได้เป็นคลอโรฟิลล์บี (Gross, 1987)

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Wills *et al.*, 1982; ดนัย, 2540 และจริงแท้, 2549)

1. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ในระหว่างการพัฒนามีการเปลี่ยนแปลง เช่น เยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์เริ่มเสื่อมเมื่อมีอายุมากขึ้น หรือคลอโรพลาสต์เปลี่ยนเป็นโครโมพลาสต์ ซึ่งมีสีอื่นนอกจากสีเขียวขึ้นกับชนิดของพืช โดยไทลาคอยด์ที่อยู่ในเม็ดคลอโรพลาสต์จะค่อยๆ หมดประสิทธิภาพลงแล้วสลายตัวไปในที่สุดขณะที่โครโมพลาสต์มีการสร้างขึ้นเรื่อยๆ

2. ระดับความเป็นกรด-ด่างภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลต่อการสลายตัวของคลอโรพลาสต์ โดยถ้าระดับความเป็นกรดมากมีผลทำให้ chloroplast membrane เกิดการสลายตัว

3. การสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์ เช่น catalase และ chlorophyllase

4. ปัจจัยอื่นๆ คือ ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในที่มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ระดับฮอร์โมนภายใน อายุของพืช แสง อุณหภูมิ และฮอร์โมนหรือสารเคมีที่ให้จากภายนอก

ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์

1. สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (จริงแท้, 2549 และดนัย, 2540)

1.1 เอทิลีน (ethylene) โดยเอทธิลีนเป็นตัวเริ่มต้นและตัวกระตุ้นให้เกิดกระบวนการการสุกซึ่งในระหว่างการสุกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสีของผลอันเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และมีการสร้างแอนโทไซยานินหรือคาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น โดยเอทิลีนทำให้คลอโรพลาสต์เปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาสต์ เป็นผลให้สีเขียวของพืชหายไป

1.2 จิบเบอเรลลิน (gibberellin, GA) มีผลตรงกันข้ามกับเอทธิลีน โดยทำให้เกิดกระบวนการแก่ การสุก และการพัฒนาสีช้าลง เนื่องจาก GA ชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลไม้หลายชนิดทั้งที่อยู่บนต้นและปลิดจากต้นแล้ว เช่น ส้ม มะเขือเทศ มะนาวกระเจี๊ยบเขียว มังคุด ทุเรียน กล้วยหอม และพลับ

1.3 กรดแอบซิสสิก (abscisic acid, ABA) มีผลกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยเมื่อผลเข้าสู่ระยะแก่และสุก ระดับของกรดแอบซิสสิกเพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีผลกระตุ้นการสร้างสีของผล เช่น องุ่น และท้อ

1.4 ออกซิน (auxin) มีผลทั้งกระตุ้นและชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยถ้าใช้ความเข้มข้นน้อยมีผลชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูง ออกซินมีผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์โดยไปกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีน และเอทธิลีนมีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase

1.5 ไซโตไคนิน (cytokinin) มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ให้ทำงานได้น้อยลงโดยใช้ได้ผลดีในกล้วยหอม หน่อไม้ฝรั่ง บร็อกโคลี พาสเลย์ และกะหล่ำดาว

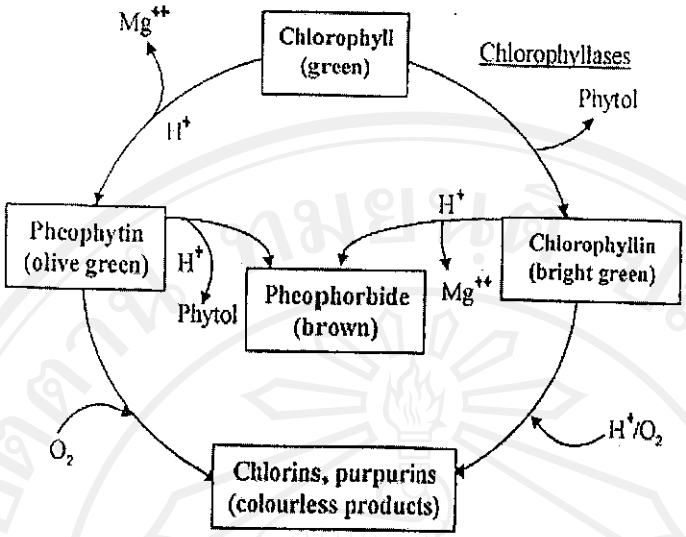
2. แสง โดยปกติการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เกิดขึ้นในสภาพมีแสงเท่านั้น ดังนั้นการพัฒนาของผลไม้ในสภาพที่ไม่มีแสงมักไม่มีสารสีคลอโรฟิลล์เกิดขึ้น จากการศึกษาของสุจิตรา (2539) ถึงผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุและกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนิลอลานีนแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia-lyase, PAL) ของเปลือกผลมังคุดในระยะสุกแก่ต่างๆกัน (ระยะที่ 1-6) โดยทำการห่อผลมังคุดและไม่ห่อผลบนต้นด้วยถุงกระดาษ พบว่า แสงมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และเบตา-คาโรทีน ในระยะที่ 4-6 โดยผลที่ไม่ห่อผลมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าผลที่ห่อผลแต่มีปริมาณเบตา-คาโรทีนมีน้อยกว่า

3. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์ การสร้างและการสลายตัวของคลอโรพลาสต์ ส่วนใหญ่อุณหภูมิสูงมีผลกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เช่น ในผลส้มต้องการอุณหภูมิต่ำประมาณ 13-20 องศาเซลเซียส เพื่อเกิดการเปลี่ยนจากคลอโรฟิลล์ไปเป็นโครโมพลาสต์ได้ดี แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส คลอโรพลาสต์ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาสต์ได้หมด ทำให้ส้มมีสีเขียวและเหลืองด่างๆ ในแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผลแอปเปิลที่เก็บไว้ที่ 18 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลานาน 2 สัปดาห์จึงสลายหมด ในขณะที่ผลที่เก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลานาน 2 เดือนจึงสลายหมด (Tomana, 1983)

4. ปุ๋ย ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ภายหลังพืชได้รับธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้เข้าไปแล้ว มักมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้น เช่น ในส้มพันธุ์ Valencia ที่ได้รับปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมอยู่ในระดับสูง ทำให้เปลือกผลมีสีเขียวมากกว่าเปลือกที่ได้รับปุ๋ยทั้งสองชนิดในระดับต่ำกว่า (Sourour, 2000)

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (ภาพ 5) ในผลไม้ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเขียวหายไป ตามปกติเกิดร่วมกับการเกิดสารสีชนิดอื่นๆ เช่น คาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งในเนื้อเยื่อทั่วไปมักมีคาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินปะปนอยู่แต่สีของคาโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินมักถูกสีของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของคาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมา (จิรา, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



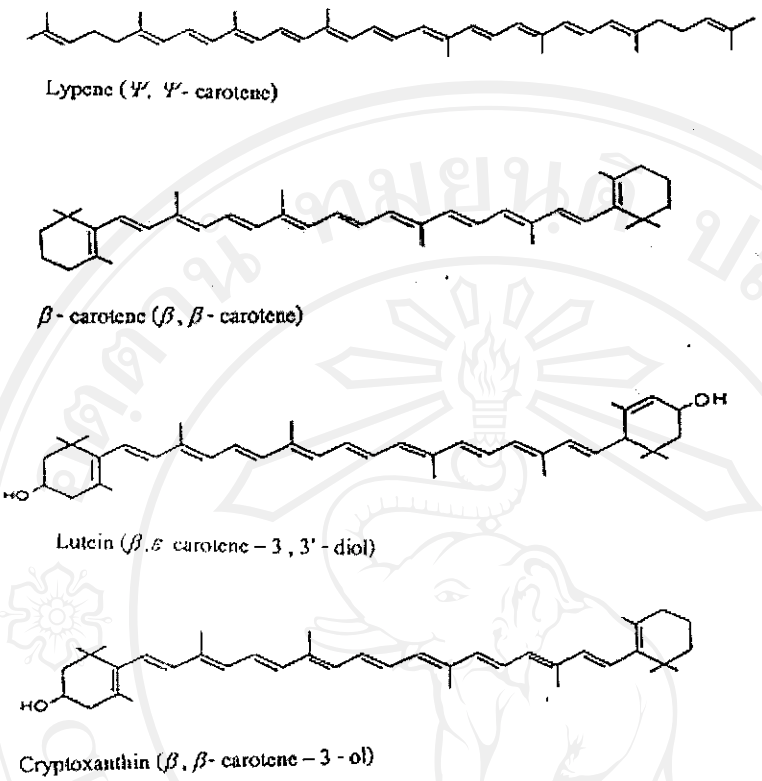
ภาพ 5 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในรูปแบบต่างๆ (Wills *et al.*, 1982)

คาโรทีนอยด์ (carotenoids)

คาโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของสารสีที่มีสีเหลืองจนถึงสีแดงอยู่ภายในโครโมพลาสต์ในเซลล์ของพืช คาโรทีนอยด์เป็นสารสีเสริมในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยต้องถ่ายทอดพลังงานจากแสงที่ได้รับไปให้กับคลอโรฟิลล์เอ เพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงต่อไป (ดนัย, 2540 และ Gross, 1987)

คาโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว มีคาร์บอน 40 อะตอม ได้แก่ คาโรทีน ไลโคปีน และแซนโทฟิลล์ เป็นต้น คาโรทีนจัดเป็นโปรวิตามินเอ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกายคนและสัตว์ ส่วนไลโคปีนและแซนโทฟิลล์นั้นไม่มีคุณสมบัติดังกล่าว ในผักผลไม้มักมีคาโรทีนและแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยแต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ คาโรทีนอยด์ที่พบที่เปลือกผลมักปรากฏให้เห็นเมื่อผลไม้เริ่มสุกหรือเสื่อมสภาพ โดยปริมาณของคาโรทีนอยด์ค่อนข้างคงที่ (จริงแท้, 2544) ถึงแม้ว่าคาโรทีนอยด์เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวแต่คาโรทีนอยด์มีคุณสมบัติค่อนข้างเสถียรในเซลล์ของผลิตผลภายใต้สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ในการเก็บรักษาแครอท พบว่า เวลาและสภาพการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการสูญเสียคาโรทีนอยด์น้อยมาก อาจเป็นเพราะว่าโมเลกุลของคาโรทีนอยด์ (ภาพ 6) รวมตัวอยู่กับ phospholipids ในเยื่อหุ้มของไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ ก็ได้ (Gross, 1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



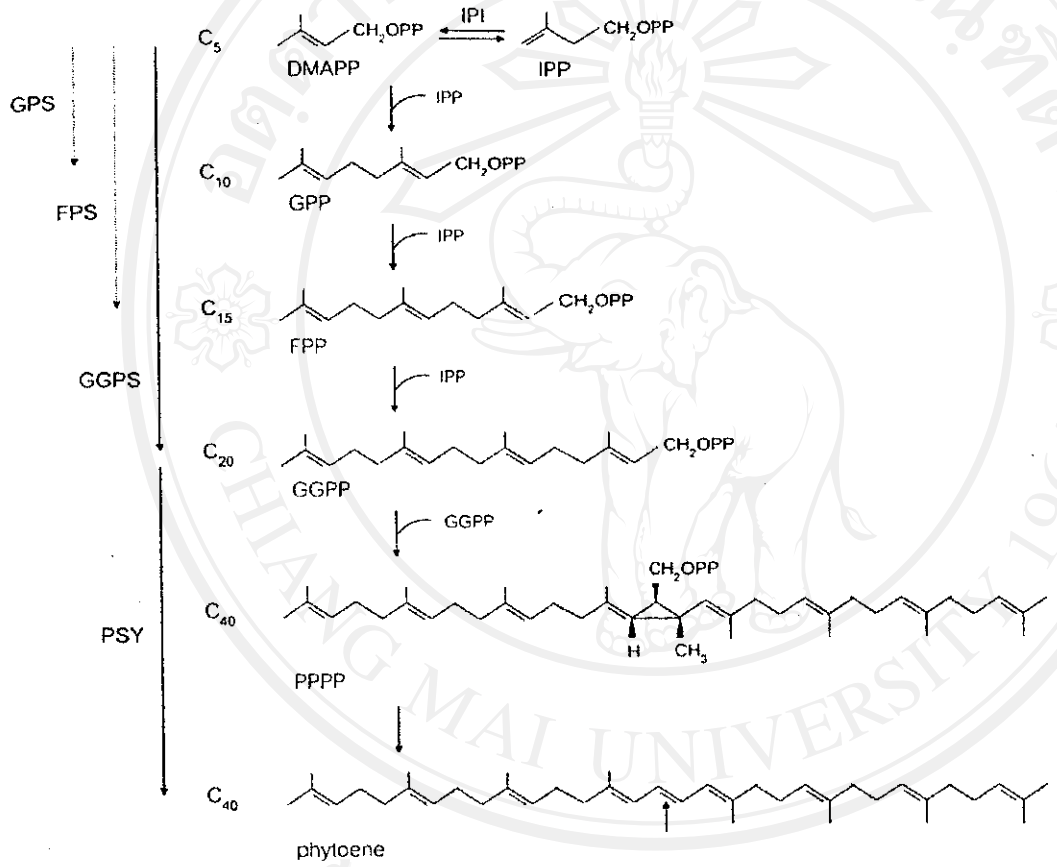
ภาพ 6 โครงสร้างโมเลกุลของคาโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Wrolstad, 1982 และ Gross, 1987)

การสังเคราะห์คาโรทีนอยด์

คาโรทีนอยด์เกิดจาก isoprenoid เกาะกัน โดยเกิดจาก C_5 จาก isoprenoid unit 8 อัน มาเชื่อมต่อกันแบบหัวต่อหาง หรือหางต่อหัวก็ได้ บริเวณส่วนท้ายของกลุ่มที่อยู่ตรงปลายสุด เชื่อมต่อกันเป็นวงหรือไม่เป็นวงก็ได้ ในการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องในทุกขั้นตอนโดยมี mevalonic acid เป็นสารตั้งต้น mevalonic acid (MVA) เปลี่ยนเป็น MVA-5 - pyrophosphate โดยมี adenosine triphosphate (ATP) เข้าร่วม ได้เป็น isopentenyl pyrophosphate (IPP) และ IPP เปลี่ยนไปเป็น geranyl geranyl pyrophosphate (GPP) แล้ว GPP รวมตัวกับ IPP ได้เป็น farnesyl pyrophosphate (FPP) รวมตัวกับ IPP อีกครั้งได้ GGPP ซึ่งมีคาร์บอน 20 อะตอม (Gross,1987) (ภาพ 7) แล้ว GGPP 2 โมเลกุล มารวมกันโดยอาศัยเอนไซม์ phytoene synthase ได้เป็น phytoene ซึ่งมีคาร์บอน 40 อะตอม แต่ยังเป็นสารไม่มีสี (Gross,1987 และจริงแท้, 2549) (ภาพ7) phytoene ผ่านขั้นตอน desaturation เปลี่ยนพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนอะตอมเป็นพันธะคู่ 4 ครั้งด้วยเอนไซม์ phytoene desaturase (PDS) และ

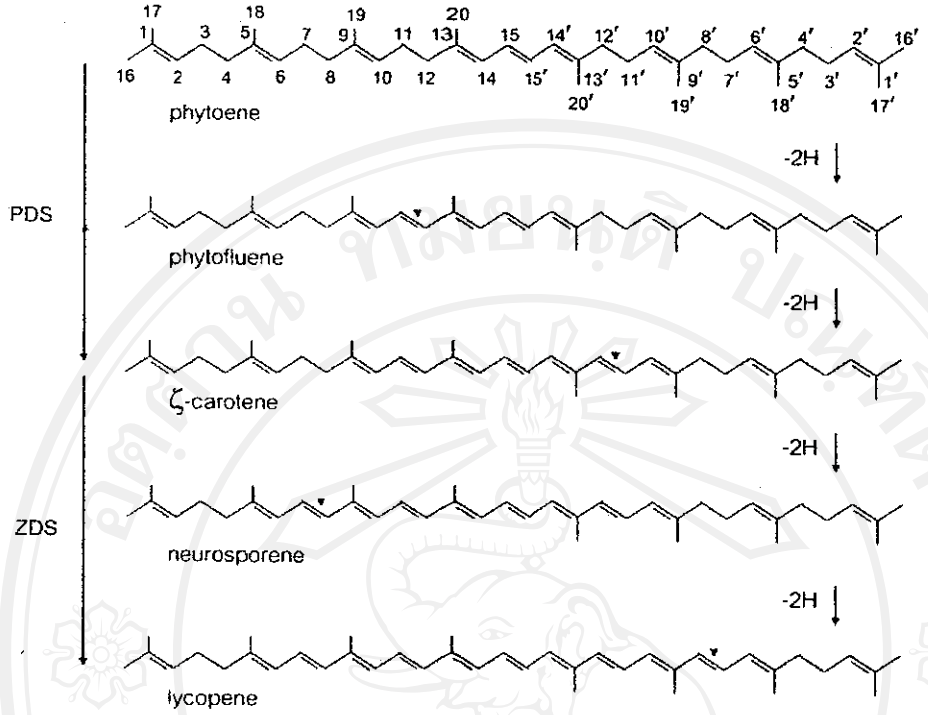
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ζ-carotene desaturase (ZDS) ได้ไลโคปีน (ภาพ 8) แล้วไลโคปีนมีการสร้างวงเกิดขึ้นที่กลุ่มที่อยู่ปลายสุดด้านซ้ายเรียกว่า monocyclic carotenes ได้แก่ δ-carotene กับ ϒ-carotene และมีการเชื่อมต่อกันเป็นวงเกิดขึ้นที่ปลายสุดทั้งสองด้าน เรียกว่า bicyclic carotene ได้แก่ α- carotene กับ β-carotene ซึ่งการเชื่อมต่อกันเป็นวงเป็น cyclization mechanism โดยมีการขยับของพันธะเคมีจนได้เป็นวงขึ้นมา



ภาพ 7 ขั้นตอนการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ เริ่มต้นจากโมเลกุลของ isopentenyl pyrophosphate (IPP) จนได้ phytoene (Cunningham and Gantt, 1998 อ้างโดย จริงแท้, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 8 ขั้นตอนการสังเคราะห์ lycopene จาก phytoene แสดงการ desaturation ณ คาร์บอนอะตอมตำแหน่งต่างๆ (Cunningham and Gantt, 1998 อ้างโดย จริงแท้, 2549)

การสลายตัวของคาโรทินอยด์มีจำนวนมากและค่อนข้างคงตัวกว่าสารสีในกลุ่มของคลอโรฟิลล์ และแอนโทไซยานิน ดังนั้น สารสีในกลุ่มนี้จึงมีการเปลี่ยนแปลงและสลายตัวได้ยาก โดยการสลายตัวเกิดขึ้นพร้อมกับการเสื่อมสภาพหรือการชราภาพของพืช ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากปัจจัยภายใน เช่น เซลล์ของพืชเสื่อมสภาพหรือการสะสมสารพิษเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น เป็นต้น (จริงแท้, 2544)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและการสลายตัวของคาโรทีนอยด์

1. สารควบคุมการเจริญเติบโต

1.1 เอทิลีน มีผลกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ สาธิต (2545) ได้ศึกษาผลของเอทิลีนในส้มเขียวหวานพันธุ์พวงทอง พบว่า การรมผลส้มด้วยก๊าซเอทิลีนที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm นาน 20 ชั่วโมง มีผลเปลี่ยนสีเปลือกผลภายใน 6 วัน โดยปริมาณคาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง

1.2 จิบเบอเรลลิน มีผลในการชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้ยังคงมีสีเขียวอยู่ซึ่งมีผลต่อการแสดงออกของคาโรทีนอยด์ (Gross, 1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ออกซิเจน มีผลกระตุ้นการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ ในการทำงานของเอทธิลีนได้ต้องมีออกซิเจนเสมอ ดังนั้น ถ้าออกซิเจนมากกิจกรรมของเอทธิลีนจะมากและทำให้การสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น เช่น ในส้มพันธุ์ Shamouti สีเนื้อด้านในของผลและน้ำส้มมีสีเข้มขึ้นเมื่อเก็บไว้ภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนสูงๆ

3. อุณหภูมิ มีผลต่อการกระตุ้นและยับยั้งการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ในผลไม้แต่ละชนิดต่างกัน เช่น ในมะเขือเทศ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างไลโคปีน คือ 24 องศาเซลเซียส แต่ในสภาพอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไม่มีการสร้างไลโคปีน และพบว่าเบตา-คาโรทีนถูกสร้างขึ้นก่อนการสะสมของไลโคปีน สาธิต (2545) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่เก็บรักษา 5 ระดับ คือ 10, 15, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ในผลส้มเขียวหวานพันธุ์พวงทองหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำให้เปลือกผลเป็นสีเหลืองเร็วที่สุด ภายใน 15 วัน

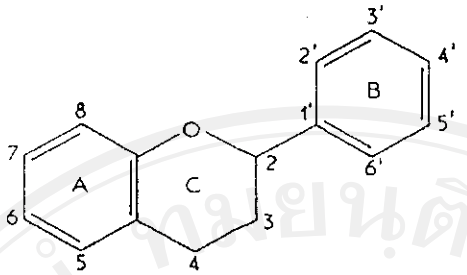
4. ปุ๋ย ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมและไนโตรเจนมากช่วยทำให้ปริมาณคาโรทีนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เช่นในผลมะเขือเทศ แต่ถ้ามีไนโตรเจนชนิดเดียวมากเกินไปจะมีผลไปลดการสังเคราะห์คาโรทินอยด์ เช่น ในผลแอปเปิล (Gross, 1987)

5. การปฏิบัติต่อต้น เช่น การเด็ดใบที่มีมากเกินไปออก ทำให้ปริมาณคาโรทินอยด์เพิ่มขึ้นอาจมาจากการที่ได้รับแสงเต็มที่เป็นการช่วยเพิ่มการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ทางอ้อม (จริงแท้, 2544)

แอนโทไซยานิน (anthocyanins)

แอนโทไซยานินเป็นสารสีที่ละลายน้ำได้ พบในแวคิวโอล (vacuole) ของเซลล์เอพิเดอร์มิสของส่วนต่างๆของพืช มีอิทธิพลต่อสีที่ปรากฏค่อนข้างมากและมีสีแดงไปจนถึงสีม่วงหรือน้ำเงิน จัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่มีชื่อว่าฟลาโวนอยด์ (flavonoids) (จริงแท้, 2544) โดยแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปตามค่าความเป็นกรด-ด่างในแวคิวโอลที่เปลี่ยนไปทำให้สีมีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 1 มีสีส้มแดง ส่วนใหญ่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 6 มีสีน้ำเงิน และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมากเกินไปสามารถทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเสียหายไป แอนโทไซยานินนอกจากสามารถละลายในน้ำได้แล้วยังละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วด้วย เช่น แอลกอฮอลล์ โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญเรียกว่า flavan nucleus ประกอบด้วย ring A และ ring B โดย ring A และ ring B เป็น ring สำคัญที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอนุพันธุ์ตัวอื่น และมี ring C เป็นตัวเชื่อมระหว่าง ring A และ ring B (ภาพ 8) ผลไม้ส่วนใหญ่มีแอนโทไซยานินประเภทไซยานิดีนมากกว่า 50 % และมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ช่วง 535 นาโนเมตร (Gross, 1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



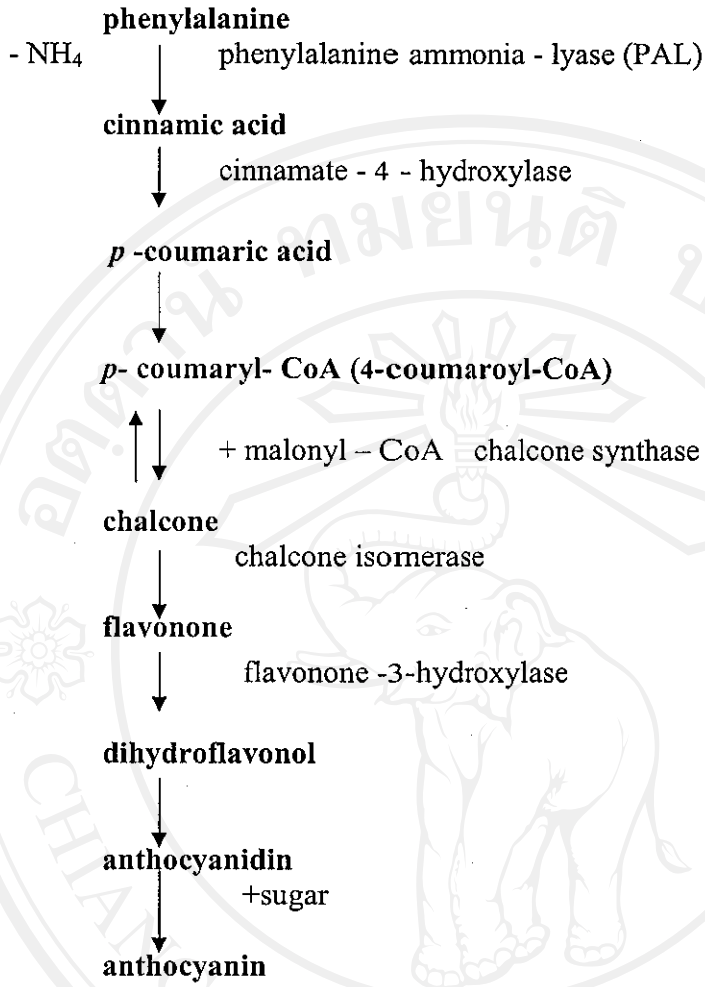
ภาพ 9 โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานของแอนโทไซยานิน (flavan nucleus) (Gross, 1987)

การสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

การสังเคราะห์แอนโทไซยานินมีสารตั้งต้นคือ malonyl-CoA กับ 4-cumaronyl- CoA รวมกันได้ chalcone แล้วมี chalcone isomerase enzyme ช่วยเปลี่ยนจาก chalcone ไปเป็น flavone และ flavone เกิดกระบวนการ glycosylation และ acylation ที่ C ตำแหน่งที่ 3 ได้เป็น anthocyanidin จากนั้น anthocyanidin มีน้ำตาลชนิดต่างๆ มาจับได้เป็นสารสีในกลุ่มแอนโทไซยานินชนิดต่างๆ (Gross, 1987)

จากกระบวนการสังเคราะห์สารสีแอนโทไซยานิน (ภาพ 9) เอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ถือว่าเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญและเป็น key enzyme ในการสังเคราะห์สารสีนี้ (Gross, 1987) โดยเอนไซม์ PAL มีผลโดยตรงต่อการสร้างสารตั้งต้นของแอนโทไซยานินซึ่งมีผลต่อการสร้าง flavan nucleus ที่เป็นโมเลกุลพื้นฐานของแอนโทไซยานิน โดยเอนไซม์ PAL ถูกค้นพบครั้งแรกในต้นกล้าของข้าวบาร์เลย์เมื่อประมาณ 22 ปีที่ผ่านมา โดย Koukol and Conn หน้าที่ของเอนไซม์ PAL คือเร่งการเกิด elimination ของแอมโมเนียและ *pro*-3S hydrogen จาก L-phenylalanine ไปเป็น *trans*-cinnamic acid และเกิดเป็น *p*-coumaric acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Gross, 1987) ดังนั้นในการวิจัยเกี่ยวกับสารสีแอนโทไซยานิน จึงมีการศึกษาถึงแอคติวิตีของ PAL ด้วย (Cheng and Breen, 1991; Lister *et al*., 1996; วารุณี, 2543 และยุทธนา, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ10 การสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Gross, 1987)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานิน

1. อุณหภูมิ ในสภาพที่มีอุณหภูมิ มีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โดย Underhill and Critchley (1993) พบว่า อุณหภูมิ มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ โดยเมื่อผลได้รับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีผลทำให้เปลือกของผลเกิดสีน้ำตาล ส่วนในเปลือกผลอ่อนมีปริมาณแอนโทไซยานินและมีสีสันสวยงามเมื่ออุณหภูมิในแปลงปลูกช่วงกลางวันอยู่ระหว่าง 15-25 องศาเซลเซียส และช่วงกลางคืนระหว่าง 10-20 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิช่วงกลางวันสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส และกลางคืนสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์แอนโทไซยานินจะลดลงมากหรือหยุดไปเลย (จริงแท้, 2549)

2. ความเป็นกรด-ด่าง โดยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสีของแอนโทไซยานิน ในผลไม้ที่แก่จัดหรือสุกมีปริมาณกรดน้อยลงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สีของผลไม้เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยในสภาพที่เป็นกรด สีของแอนโทไซยานินมีสีค่อนข้างแดง แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นจนถึงระดับที่เป็นกลางก็จะมีสีน้ำเงินถึงม่วง (จริงแท้, 2544)

3. ความเครียด (stress) เมื่อพืชได้รับความกระทบกระเทือนทำให้พืชเกิดความเครียด แอนโทไซยานินถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนสีได้ (จริงแท้, 2544) Kubota (1996) พบว่าการใช้สายรัดที่มีความกว้าง 1 เซนติเมตรรัดที่กิ่งท้อในระยะแรกของการเจริญเติบโตทำให้ปริมาณฟีโนลิกและแอคทิวิตีของเอนไซม์ PAL สูงขึ้น

4. คาร์บอนไดออกไซด์ Holcroft *et al.* (1998) ศึกษาผลของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเก็บรักษาผลทับทิมพันธุ์ Wonderful พบว่าเนื้อทับทิมที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีสีเข้มกว่าเนื้อทับทิมที่เก็บรักษาในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ปานกลางและสูง สีแดงของเนื้อเป็นผลมาจากปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้น ทำให้อายุการเก็บรักษาและคุณภาพของเนื้อลดลง การเก็บรักษาหน่อไม่ฝรั่งขาวในที่มืดและในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง ช่วยลดการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและช่วยให้มีสีขาวตามความต้องการของผู้บริโภค (จริงแท้, 2549)

5. น้ำตาล เป็นส่วนประกอบหลักของโมเลกุลของแอนโทไซยานิน โดย Hiratsuka *et al.* (2001) ได้ทำการทดลองกับองุ่นในสภาพ *in vitro* พบว่าเปลือกผลที่แช่ในจานแก้วที่มีสารละลาย ABA ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ร่วมกับน้ำตาลแรมโนส 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถเร่งการเกิดสีแดงได้ ในขณะที่การให้ซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลยับยั้งการเกิดสีแดงในองุ่น

6. ไนโตรเจน มีผลทำให้การสะสมแอนโทไซยานินในพืชลดลง โดยส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตทางใบมากขึ้น การมีใบมากทำให้ผลได้รับแสงน้อยซึ่งส่งผลต่อการสังเคราะห์น้ำตาลและแอนโทไซยานินที่ลดลง (Gross, 1987 และจริงแท้, 2549)

7. สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช หมายถึง ฮอร์โมนพืช (plant hormones or phytohormone) และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่สังเคราะห์ขึ้น โดยฮอร์โมนพืชในปริมาณเล็กน้อยก็สามารถส่งเสริม ยับยั้ง หรือชะลอการเจริญเติบโตของพืชได้ นอกจากนี้ยังอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชได้ (จำนงค์, 2536)

7.1 ออกซิน ระดับความเข้มข้นของสารมีผลต่อการสังเคราะห์และยับยั้งแอนโทไซยานินได้ซึ่งการให้ออกซินแก่ผลองุ่นพันธุ์ Doradillo มีผลชะลอการสุก (Hale *et al.*, 1970)

7.2 จิบเบอเรลลิน Martinez *et al.* (1996) ได้ศึกษาผลของการให้สารจิบเบอเรลลินจากภายนอกต่อการเปลี่ยนสีและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL, chlorophyllase และ peroxidase ในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี พบว่าการใช้ GA_3 ความเข้มข้น 10^{-3}M ทาบริเวณผิวนอกของผลที่เก็บเกี่ยวมาในระยะต่างๆ กัน ช่วยทำให้ผลเกิดการพัฒนาสีได้ช้าลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งสอดคล้องกับ Weiss and Halevy (1989) ที่ให้ GA_3 ความเข้มข้น 3×10^{-3}M กับดอกพีทูเนีย พบว่ามีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและเอนไซม์ PAL

7.3 กรดแอบซิสสิก (abscisic acid, ABA) ดิศร (2541) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ ABA ความเข้มข้น 100 และ 200 ppm แก่ผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่อยู่บนต้น พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีแดงของเปลือกแต่มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกผลสูงขึ้นกว่าชุดควบคุม Uthaibutra and Gemma (1991) พบว่าในผลแอปเปิลพันธุ์ Jonagold ที่มีอายุเพิ่มขึ้นก็จะมีปริมาณกรดแอบซิสสิกเพิ่มขึ้นพร้อมๆ กับปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการพัฒนาของผล

8. ไฟโตโครม เป็นสารสีชนิดหนึ่งมี 2 ประเภท คือ ไฟโตโครม P_{600} หรือ Pr และไฟโตโครม P_{730} หรือ Pfr โดย Pr เป็นไฟโตโครมที่อยู่ในรูปเฉื่อย ดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 500-700 นาโนเมตร โดยดูดแสงความยาวคลื่น 660 นาโนเมตรได้ดีที่สุด ไฟโตโครมชนิดนี้ไม่มีฤทธิ์กระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต ส่วนไฟโตโครม Pfr เป็นไฟโตโครมที่ว่องไว ดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 520-800 นาโนเมตร โดยดูดความยาวคลื่น 730 นาโนเมตรหรือแสงเหนือแดงได้ดีที่สุด มีฤทธิ์กระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตได้ โดยไฟโตโครมทั้งสองชนิดนี้สามารถเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาได้ ซึ่งตอบสนองต่อช่วงแสงที่ได้รับแล้วมีการเปลี่ยนรูป ถ้าได้รับแสงเหนือแดงหรือไม่ได้รับแสง Pfr จะเปลี่ยนเป็น Pr แต่ถ้าได้รับแสงสีแดง Pr จะเปลี่ยนเป็น Pfr ซึ่งอยู่ในรูปที่มีความว่องไว ซึ่ง Pr มีผลกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ PAL (Saure, 1990) ส่งผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของทั้งระดับการสร้างและการสะสม RNA ทำให้มี rRNA และ mRNA ของเอนไซม์ที่อยู่ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ให้มีปริมาณสูงขึ้น (Tobin and Silverthorne, 1985)

9. แสง มีผลกระตุ้นหรือส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ PAL และการสังเคราะห์สารสีแอนโทไซยานินในพืชโดยให้ผลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดหรือพันธุ์พืชนั้น

ในระดับเอนไซม์แสงมีผลส่งเสริมการสร้างแอนโทไซยานิน โดยแสงมีผลช่วยกระตุ้นหรือส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ PAL จากรูปที่ non-active เป็น active หรือในพืชบางชนิดแสงกระตุ้นการเปลี่ยนรูปจาก active เป็น more active (Singh *et al.*, 1990)

ในระดับยีนสันนิษฐานว่า แสงมีผลส่งเสริมการแสดงออกของ PAL gene รวมทั้งยีนอื่นๆ ในกระบวนการสร้างแอนโทไซยานิน ได้แก่ CHS gene, F_3K gene และ DFR gene เป็นต้น (Palmer, 1995) เช่น ในใบข้าวโพดจะพบ CHS gene ในลิ้นมังกรพบ F_3K gene และพิทูเนียพบ DFR gene ที่ควบคุมการสร้างแอนโทไซยานิน (Boss *et al.*, 1996; Godoy-Hernandez and Lozoya-Gloria, 1999) ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในเปลือกผลองุ่นพันธุ์ Shiraz

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากมี PAL gene ยังมียีนอื่นที่มีผลต่อการสร้างเอนไซม์เพื่อเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ได้แก่ CHI, CHS, F_3K, DFR, LDOX และ UDPGulT gene เป็นต้น ในขณะที่ไม่พบยีนเหล่านี้ในเนื้อผล (Boss *et al.*, 1996) โดยการแสดงออกของเอนไซม์ยีนที่สภาพที่ไม่ได้รับแสงจะไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลบางอย่างได้ แต่ในสภาพที่มีแสงจะมีผลต่อไฟโตโครมซึ่งส่งผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของทั้งระดับการสร้างและการสะสม RNA ทำให้มี rRNA และ mRNA ของเอนไซม์ที่อยู่ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน เช่น CHI, CHS, F_3K, DFR, LDOX และ UDPGulT gene ให้มีปริมาณสูงขึ้น (Tobin and Silverthorne, 1985) แสงมีผลผ่านไฟโตโครมและตัวรับแสง (photoreceptor) ซึ่งส่งผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินทางอ้อม (Singh *et al.*, 1990)

แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยแสงสำคัญต่างๆ 3 ช่วงที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน คือ แสง UV (UV-A, 315-400 nm; UV-B, 280-315 nm; UV-C, 100-280 nm) แสงสีขาว (white light : WL, 380-780 nm) และแสงอินฟราเรด (infrared : IR, 700-2,800 nm)

การทดลองเกี่ยวกับแสงอาทิตย์

1. กอบเกียรติและคณะ (2540) ได้ทำการศึกษาผลของแสงต่อปริมาณสารสีแอนโทไซยานินในเปลือกมะม่วงพันธุ์เคนท์โดยทำการห่อผลด้วยถุงกระดาษสีน้ำตาล พบว่ากลุ่มที่ไม่ได้ห่อผลมีการพัฒนาของสีแดงเพิ่มมากขึ้น ส่วนในกลุ่มที่มีการห่อผลนั้นไม่มีการพัฒนาสีแดงเกิดขึ้นเลย และยังมีความเข้มของสีเขียวน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ห่อผล

2. อัญชุลี (2540) ได้ศึกษาผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงสารสีของเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์โอเฮียะ โดยการห่อผลด้วยถุงกระดาษสีน้ำตาล พบว่า เปลือกของผลลิ้นจี่ที่ห่อถุงมีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยกว่าถุงที่ไม่ได้ห่อถุง

3. ดิศร (2541) ได้ศึกษาในมะม่วงพันธุ์เคนท์ โดยให้ผลบนต้นได้รับแสงเพิ่มจากธรรมชาติ คือ ใช้แผ่นสะท้อนแสงให้กับอีกด้านหนึ่งของผลที่ไม่ถูกแสงจากธรรมชาติ เปรียบเทียบกับผลที่ไม่ได้รับแสงโดยการห่อผลและผลที่ได้รับแสงจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียว พบว่าชุดที่ได้รับแสงเพิ่มขึ้นจากแผ่นสะท้อนแสงมีปริมาณสารสีแอนโทไซยานิน และมีการพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลมากกว่าชุดที่ห่อผลตลอดระยะการพัฒนาผล

4. Fan and Mattheis (1998) และ Ju *et al.* (1999) พบว่าผลแอปเปิลที่ได้รับแสงและการใช้ foil film และ metallized film จะมีปริมาณแอนโทไซยานินและเปอร์เซ็นต์การเกิดสีแดงเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในขณะที่การห่อผลทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดสีแดงที่ผลน้อยมากและยังลดปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่ผิวอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. วารุณี (2543) ที่ได้ศึกษาผลของแสงและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดต่อแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณสารสีแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สร้างขึ้นในระหว่างการพัฒนาสีแดงในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ (60-110 วันหลังดอกบาน) พบว่า แสงมีผลส่งเสริมการสร้างแอนโทไซยานิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผล โดยผลบนต้นในชุดที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้นและสูงกว่าในชุดที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งมีปริมาณต่ำและคงที่ตลอดการพัฒนา ซึ่งในระหว่างการพัฒนาผลของแอกทิวิตีของ PAL มีการเพิ่มสูงขึ้นสองครั้งโดยในชุดที่ได้รับแสงมีค่าสูงกว่าในชุดที่ห่อ

6. Shahak *et al.* (2001) ทำการทดลองในมะม่วงพันธุ์เคียทโดยวางแผ่น metallized-polyethylene ไว้ตลอดทางเดินระหว่างแถวทิศเหนือกับทิศใต้เพื่อช่วยในการสะท้อนแสงแก่ต้นเป็นเวลา 2 เดือนก่อนการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูร้อนปี ค.ศ. 1997 และ 1998 โดยแผ่นสะท้อนแสงช่วยให้ผลได้รับแสงมากขึ้น 3-4 เท่า ส่วนในชุดควบคุมที่ไม่มีการสะท้อนแสงจากพื้นดินขาดช่วงแสง UV A/B (300-400nm) ซึ่งเป็นช่วงแสงที่จำเป็นในการสร้างสารสี ผลปรากฏว่าชุดที่มีแผ่นสะท้อนแสงมีการสร้างสีแดงในเปลือกผล โดยเปอร์เซ็นต์ของการเกิดสีแดงเพิ่มขึ้น 2 เท่า ทั้ง 2 ปีที่ได้ทำการศึกษา (สีแดงที่พบมีมากกว่าครึ่งของเปลือกผล)

7. Honda *et al.* (2002) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของแสงอาทิตย์ต่อการแสดงออกของยีนที่สร้างเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในระหว่างการเกิดสีแดงของเปลือกผลแอปเปิล 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ Jonathan เป็นกลุ่มที่มีสีแดงมาก พันธุ์ Fuji เป็นกลุ่มที่มีสีแดงปานกลาง และ พันธุ์ Orin เป็นกลุ่มที่ไม่มีสีแดง โดยทุกกลุ่มมีการแสดงออกของ PAL, CHS, F_3K, DFR, ANS และ UDPGulT gene ในปริมาณที่สูงเมื่อผลเข้าสู่ระยะการแก่ ยกเว้นพันธุ์ Orin ที่ไม่มีการแสดงออกของ UDPGulT gene ทำให้ไม่มีการสะสมแอนโทไซยานินและไม่พบการเกิดสีแดงที่เปลือกผล ทั้งนี้อาจจะสันนิษฐานได้ว่า เป็นยีนที่มีผลควบคุมการสร้างแอนโทไซยานินมากกว่ายีนอื่นๆ

8. Jeong *et al.* (2004) ศึกษาผลของแสงอาทิตย์ต่อการเกิดสีม่วง ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณ mRNA และ PAL gene ในระหว่างการเจริญขององุ่น โดยทำการห่อผลเมื่อมีอายุ 10 วันหลังดอกบาน และทำการวิเคราะห์ทุก 14 วัน จนถึง 52 วันหลังดอกบาน พบว่า ผลที่ไม่ได้รับแสงมีปริมาณ mRNA และ PAL gene ในปริมาณที่น้อยมาก รวมทั้งมีสีม่วงที่ผิวน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ได้รับแสง

9. ยุทธนา (2549) ศึกษาผลของแสงต่อปริมาณแอนโทไซยานินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกระหว่างการเจริญของผล พบว่า ในสภาพ *in vivo*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แสงมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นกว่าในผลที่ไม่ได้รับแสง

พืชบางชนิดแสงอาจไม่ได้มีผลส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน เช่น ในผลมังคุดที่ห่อผลบนต้นตลอดเวลามีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกับผลที่ได้รับแสงในสภาพปกติจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (สุจิตรา, 2541)

การทดลองเกี่ยวกับแสง UV

1. Arakawa *et al.* (1985) ศึกษาผลของแสงต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน พบว่า แสง UV-A มีผลส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินน้อยกว่า UV-B

2. Arakawa *et al.* (1986) และ Faragher and Chalmers (1977) ได้ทำการให้แสง UV ในแอปเปิล พบว่าทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้น

3. Arakawa (1988) ก็พบว่าเมื่อได้รับแสงสีแดง (red light) ร่วมกับ UV-B จะส่งผลต่อไฟโตรโครม Pr ซึ่งอยู่ในรูป inactive ให้เปลี่ยนเป็น Pfr ที่อยู่ในรูป active

4. Droby *et al.* (1991) พบว่าการให้แสง UV มีผลทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้นจากการชักนำของเชื้อจุลินทรีย์ (อ้างโดยจันทร์จิรา, 2544)

5. Mancinelli (1991) พบว่าในเซลล์แขวนลอยของยาสูบและ Arabidopsis ที่ให้แสง UV และแสงสีน้ำเงิน ทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์ PAL สูงกว่าการให้แสงสีแดงและแสงเหนือแดง

6. Dong *et al.* (1995) นำผลแอปเปิลพันธุ์ Royal Gala ที่ห่อผลไว้จนกระทั่งอายุ 106 วัน มาให้แสง 3 ชนิดคือ WL, UV และแสงจากดวงอาทิตย์ พบว่าการให้แสง UV มีการพัฒนาสีแดงที่เปลือกเพิ่มมากขึ้นและ แอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL สูงขึ้นรวมทั้ง CHI สูงขึ้น 10-20 เท่า

7. Reay and Lancaster (2001) ศึกษาผลของแสง UV ต่อปริมาณแอนโทไซยานินในระหว่างการเก็บรักษาผลแอปเปิลพันธุ์ Royal Gala และ Gala โดยเก็บผลที่มีอายุ 129-142 วันหลังดอกบาน มาให้แสง ตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นเก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน โดยในระหว่างนี้ทุกๆ 10 วัน เก็บผลมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าชุดที่ได้รับแสง UV มีปริมาณสูงกว่าชุดที่ไม่ได้รับแสง UV ตลอดระยะเวลาการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

8. Kataoka *et al.* (2002) รายงานว่าการให้แสง UV, แสง WL และ แสง UV+WL กับองุ่นพันธุ์ Gros Colman ทำให้องุ่นสามารถสังเคราะห์แอนโทไซยานินได้มากกว่าในชุดที่ไม่ได้รับแสง

9. Rudell *et al.* (2002) ทดลองให้ UV ร่วมกับ jasmonate ในผลแอปเปิลพันธุ์ Fuji พบว่ามีผลทำให้เกิดการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้น

10. Kataoka and Beppu (2004) ได้ทดลองคลุมด้วย PVC film เพื่อป้องกันแสง UV ในท้อพันธุ์ Hakuho พบว่าในชุดที่ได้รับแสง UV ทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าในชุดที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์และชุดที่คลุมด้วย PVC film

ส่วนในลิ้นจี่และเชอรี่ก็พบว่าการให้แสง UV และการได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ จะมีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าในชุดที่ให้แสง WL และชุดที่ห่อผล (Kataoka *et al.*, 1996 และอัญชุลี, 2540)

อย่างไรก็ตามในองุ่นพันธุ์ Pione ที่พบว่าการให้แสง UV-A ไม่มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Kubota *et al.*, 2002)

การทดลองเกี่ยวกับแสง white light

1. Sornsrivichai *et al.* (1990) ให้แสง WL ที่ความเข้มแสงที่ 21 และ 30 W/m^2 เป็นเวลา 72 hr เพิ่มปริมาณแอนโทไซยานิน และเปลือกมีสีแดงมากกว่าชุดควบคุมของแอปเปิลพันธุ์ Anna

2. Miszczak *et al.* (1995) ทดลองให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (75%) ร่วมกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ (incandescent) (25%) ที่ความเข้มข้นแสง 200 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ อย่างต่อเนื่องกับสตรอเบอรี่ระยะสีขาว ชมพูและแดงที่ 15 องศาเซลเซียส พบว่าระยะสีชมพูอัตราการพัฒนาสีดีที่สุด

3. Saks *et al.* (1996) พบว่าการให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 14.5 และ17.5 W/m^2 ทำให้ไหล่สีขาวของผลสตรอเบอรี่พัฒนาเป็นสีแดงได้ และยังกล่าวอีกว่าแสงไม่มีผลต่อคุณภาพและการเน่าเสีย

4. Ju (1998) ศึกษาผลของแสงฟลูออเรสเซนต์ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และการเกิดสีแดงในเปลือกแอปเปิลพันธุ์ Delicious นำผลที่มีอายุ 62 วันหลังดอกบานมาให้แสงฟลูออเรสเซนต์ 2,000 ลักซ์ ตลอดเวลาที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 1 วัน และเพิ่มสูงสุดเมื่อผ่านไป 6 วัน ในขณะที่สีเปลือกผลมีการเกิดสีแดงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านไปแล้ว 2 วัน

5. Shi *et al.* (2000) ทำการศึกษาปัจจัยของแสงต่อการพัฒนาสีแดงในแอปเปิลพันธุ์ Fuji พบว่าแอนโทไซยานินมีการพัฒนามากขึ้นในผลที่ได้รับแสง white fluorescence โดยที่ความเข้มแสง 80 W/m^2 มีการพัฒนามากกว่าผลที่ได้รับแสง 40 W/m^2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. Farzad *et al.* (2003) ศึกษาผลของแสงฟลูออเรสเซนต์ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณ mRNA ของ PAL gene รวมทั้งยีนอื่นๆ ที่มีอยู่ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินของกลีบดอก *Viola ornuta* โดยให้แสงฟลูออเรสเซนต์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 วันกับดอกที่มีอายุ 2-5 วัน หลังดอกบาน พบว่าดอกที่ได้รับแสงฟลูออเรสเซนต์กลีบดอกมีสีม่วงเกิดขึ้น และมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมทั้งปริมาณ mRNA ของ PAL gene และยีนอื่นๆในปริมาณที่สูงกว่าชุดที่ไม่ได้รับแสงฟลูออเรสเซนต์

สมคิด (2544) ทำการทดลองให้แสง WL ที่ความเข้มแสง 18 W/m^2 ในห้องที่มีอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส แก่ผลสตรอเบอรีที่ระยะสีผิวเปลี่ยนเป็นสีแดง 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน พบว่าไม่มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และการเพิ่มขึ้นของสีแดง

การทดลองเกี่ยวกับ UV+WL

Wang *et al.* (2000) ศึกษาระยะเวลาการได้รับแสงต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL ในระหว่างการเจริญเติบโตของแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonathan โดยห่อผลเมื่อมีอายุ 78 วันหลังดอกบาน ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อผลมีอายุ 154 วันหลังดอกบานมาให้แสงสีขาว+แสงอุลตร้าไวโอเลต (UV+WL) เป็นเวลา 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เก็บผลมาวิเคราะห์ทุกๆ 24 ชั่วโมง พบว่า แอนโทไซยานิน มีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการให้แสง โดยเมื่อให้แสง 96 ชั่วโมง มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด ส่วนแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL พบว่ามีการเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อได้รับแสงเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้น แอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่าสีผิวของผลไม้เกิดจากสารสีชนิดต่างๆ โดยการสร้างและสลายตัวของสารสีทั้ง 3 กลุ่ม คือ คลอโรฟิลล์ คาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน มีทั้งปัจจัยภายในและภายนอกเป็นตัวกำหนดการแสดงออกของสีผิว ซึ่งปัจจัยบางปัจจัยมีความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีของสารสีทั้ง 3 กลุ่ม การศึกษาถึงสิ่งต่างๆ เหล่านี้นำไปสู่การจัดการเกี่ยวกับการรักษาคุณภาพ หรือการยืดอายุการวางจำหน่ายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved