บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 มะม่วงพันธุ์มหาชนก

มะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นมะม่วงพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมกันระหว่างมะม่วงพันธุ์ Sunset ซึ่งเป็นกลุ่มสายพันธุ์อินเดีย และมะม่วงพันธุ์หนังกลางวันซึ่งเป็นกลุ่มสายพันธุ์อินโดจีน ผลมีรูปร่างยาว ปลายผลงอนเล็กน้อยคล้ายมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน เมื่อผลสุกจะมีลักษณะ ผิวสีแดงสวยงามตามลักษณะพันธุ์ Sunset (รวีและเปรมปรี, 2542) มะม่วงพันธุ์นี้มีลักษณะเปลือกหนา คงทนสามารถวางตลาดได้นาน ผิวของผลเนียนละเอียด กลิ่นหอมเมื่อสุก รสชาติหวานอมเปรี้ยว เมื่อสุกงอมหวานจัดเนื้อไม่เละ ผลสุกเก็บได้นาน ดังนั้นมะม่วงพันธุ์นี้จัดเป็นมะม่วงที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกเป็นอย่างยิ่ง (มนตรี, 2542)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (รวีและเปรมปรีม, 2542; เดช, 2550)

1. ต้น มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไปด้านข้างลำต้นแต่ไม่เลื้อย มีทรงพุ่มขนาดใหญ่ เปลือกมีสีน้ำตาลอมดำ ลักษณะผิวเรียบ กิ่งอวบใหญ่และข้อนูน (ภาพ 2.1)

2. ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกแบบสลับ ใบอ่อนมีแอนโทไซยานินมากทำให้มีสีน้ำตาลปนแดง ใบแก่มีสีเขียวเข้มแต่ไม่ดำ ก้านใบโค้งเล็กน้อย แนวเส้นกลางใบโค้งเล็กน้อยบริเวณโคนใบ ตัวใบรูปหอกวงรี (elliptic-lanceolate) ปลายใบเรียวแหลมและบิด ขอบใบเป็นคลื่นเล็กน้อยแผ่นใบเรียบและไม่ห่อหรือม้วนเป็นเกลียว

3. ดอก เป็นดอกช่อ แบบช่อแยกแขนง เกิดที่ปลายกิ่งหรือระหว่างซอกใบยาวประมาณ 30-36 เซนติเมตร ปกคลุมด้วยขนสั้นสีขาว ก้านช่อมีสีแดง รูปร่างเป็นรูปหอก ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง จำนวน 5 กลีบ มีสีเขียวอ่อน ปกคลุมด้วยขน กลีบดอกมีจำนวน 5 กลีบแยกกัน มีสีครีมแกมเหลือง และสีชมพูกลีบดอกด้านนอกมีขน ด้านในเกลี้ยง ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้ที่สมบูรณ์ (fertile stamen) 1 อัน นอกนั้นไม่สมบูรณ์หรือเป็นหมัน (staminode) และไม่มีเกสรเพศเมีย ส่วนดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) จะมีเกสรเพศผู้ 10 อัน เป็นเกสรเพศผู้ที่ไม่สมบูรณ์ 2 อัน และมีเกสรเพศเมีย 1 อัน อยู่เหนือวงกลีบ เป็นพันธุ์ที่มีดอกสมบูรณ์เพศสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ผล เป็นผลเดี่ยว รูปทรงขอบขนาน-ยาว (oblong) คล้ายมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน ที่ขั้วผลไม่มีจุก และมีฐานผลไม่เว้าเป็นร่องไหล่ผลมีลักษณะมนและเบี้ยว โดยไหล่ด้านท้องผลกลมนูนขึ้น ส่วนด้านหลังผลลาดลง 45 องศา ด้านข้างผลไม่มีร่องและไม่มีนอ ส่วนท้องผลมีรอยเว้าเข้าไปในผล (sinus) เล็กน้อย ส่วนปลายผลมีลักษณะมนและงอนเล็กน้อย ผิวเปลือกหนา เนียนเรียบ เมื่อผลแก่มีจุดประที่ผิว (lenticel) ผลดิบมีผิวเนียนเรียบสีเขียวอ่อน ผลสุกมีสีผิวเหลืองปนเขียว เหลืองอมส้มถึงส้มแต้มแดง เนื้อผลดิบสีขาว เนื้อละเอียดมีใยน้อย รสชาติเปรี้ยวมากและมีกลิ่นยาง เนื้อผลสุกมีสีเหลืองอมส้ม เนื้อละเอียดและแน่นมีใยน้อย รสชาติหวานอมเปรี้ยวไม่หวานจัดมีกลิ่นหอมและฉุนเมื่อสุกงอม

5. เมล็ด เมล็ดแบนมีขนาดเล็กรูปร่างคล้ายไตทำให้มีปริมาณเนื้อที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ถึงร้อยละ 79 นอกจากนี้มะม่วงพันธุ์นี้ยังมีเปลือกหุ้มเมล็ดหนาปานกลาง และมีเยื่อเกาะติดเปลือกไม่มาก ซึ่งต่างจากที่พบในมะม่วงพันธุ์อื่น

ภาพ 2.1 ต้นมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ใช้ในการทดลอง

2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตของผลมะม่วง

ผลมะม่วงมีการเจริญเติบโตแบบ (sigmoid shape, s–shape) ในลักษณะเดียวกับการเจริญของเซลล์ เนื้อเยื่อ หรือสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยอัตราการเจริญเติบโตของผลไม่ว่าจะเป็นน้ำหนัก ปริมาตร ความยาว และความกว้างของผลจะมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของผล และลดลงเมื่อผลเริ่มแก่จนกระทั่งผลอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวซึ่งจะมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (วิจิตร, 2529)

2.3 การเปลี่ยนแปลงสีผลในระหว่างการเจริญของผล

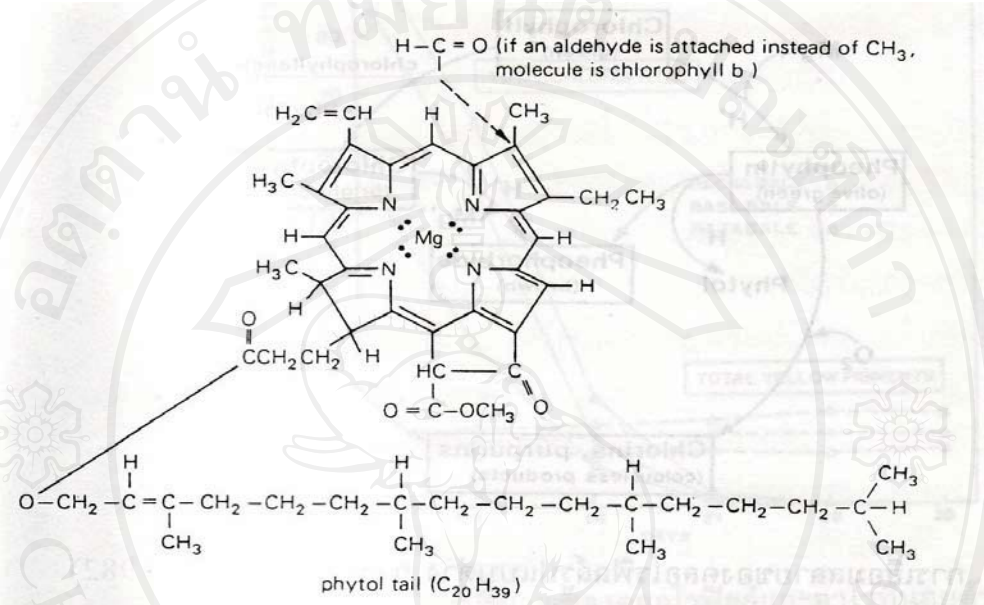
สีของผลไม้ที่ปรากฏอยู่นั้นเกิดจากกลุ่มของสารสี (pigment) ต่างๆ ที่อยู่ในเซลล์พืช โดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและปริมาณของสารสีซึ่งเกิดขึ้นตลอดเวลาของการเจริญของผลสารสีดังกล่าวภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล ก็ยังคงมีการเปลี่ยนเกิดขึ้น โดยเฉพาะสีเขียวจะหายไปและมักปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้นแทน สารสีที่พบในพืชแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ พวกที่ละลายในน้ำ (water soluble) พบในแวคิวโอล ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และพวกที่ละลายในไขมัน (lipid soluble) พบในพลาสทิด (plastid) มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น คลอโรฟิลล์ เอ(chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) แคโรทีน (carotene) และไลโคปีน (lycopene) สารสีเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้สีของผลิตผลเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของสารสีเหล่านี้ (จริงแท้, 2546) มะม่วงพันธุ์มหาชนกมีสีแดงของแอนโทไซยานินที่ปรากฏในช่วงผลเข้าสู่การแก่หรือสุกพร้อมๆ กับมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และมีการปรากฏสีเหลืองของคาโรทีนอยด์ (carotenoid) ร่วมด้วย ทำให้เปลือกผลมีสีแดงสวยงามยิ่งขึ้น สารสีหลักที่พบมากในผลไม้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. คลอโรฟิลล์ (chlorophylls) (จริงแท้, 2549)

คลอโรฟิลล์เป็นสารสีสำคัญสำหรับในพืช เพราะเป็นสารสีที่ได้รับเอาพลังงานจากแสงแดดแล้วส่งถ่ายต่อไปจนพลังงานนี้เปลี่ยนเป็นพลังงานทางชีวเคมี เพื่อการดำรงชีวิตของพืชในพืชทุกชนิดมีทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี แต่มีในสัดส่วนที่ต่างกัน จึงให้สีเขียวของใบและต้นที่แตกต่างกัน คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารที่ให้สีออกไปทางสีเขียวอมน้ำเงินส่วน คลอโรฟิลล์ บี ซึ่งมีความเป็นขั้วมากกว่า ให้สีเขียวอมเหลือง โดยทั่วไปในพืชชั้นสูงสัดส่วนจะค่อนข้างสูงเป็ น 3.2-4:1 ในขณะที่ถ้าอยู่ในที่แสงน้อยสัดส่วนจะลดลงเป็น 2.6-3.2:1 ทั้งนี้เพราะคลอโรฟิลล์ บี สามารถรับหรือดูดกลืนแสงที่ช่วงคลื่นแสง 450-480 nm ได้มากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วยส่วนหัวที่มีอะตอมของแมกนีเซียมล้อมรอบด้วยวงแหวนของคาร์บอนและไนโตรเจน (prophyrin ring) และส่วนหางที่เป็นโซ่ยาว (long chain) ของไฮโดรคาร์บอน เรียกว่า phytol (ภาพ 2.2) (จริงแท้, 2546)



ภาพ 2.2 สูตรโครงสร้างของคลอโรฟิลล์

ที่มา : Salisbury and Ross, 1985

กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ทั้งหมดเกิดขึ้นภายในคลอโรพลาสต์ ซึ่งมีขั้นตอนพอสรุปได้ ดังนี้มีกระบวนการเริ่มต้นจากการสร้างกรด δ–aminolevulinic (ALA) จากกรด glutamic จากนั้นโมเลกุลของ ALA (ภาพ 2.3a) 2 โมเลกุลจะมารวมตัวกันเป็นวงแหวน pyrrole ที่มีแขนงของกรด propionic เรียกว่า porphobilinogen (P BG) ตามด้วยการรวมตัวกันของวงแหวน pyrrole 4 วง ในลักษณะหัวชนท้ายเป็น uroporphyrinogen lll หลังจากนั้นแขนงของวงแหวน pyrrole หรือ porphyrin side chain จึงถูกดัดแปลงต่อไป (ภาพ 2.3b) โดยเฉพาะส่วนที่เป็นกรด acetic ถูกเปลี่ยนไปเป็นกลุ่ม methyl ในขณะที่กรด propionic ถูกเปลี่ยนไปเป็นกลุ่ ม vinyl ได้เป็น protoporphyrinogen IX ต่อจากนั้น protoporphyrinogen IX จะถูกออกซิไดส์ไปเป็น protoporphyrin IX โดยการดึงเอาอะตอมของไฮโดรเจนออกทำให้โมเลกุลที่ได้มีลักษณะของพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวและเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุลมีสีค่อนข้างเสถียรต่อมาอะตอมของแมกนีเซียมจึงถูกคีเลตเข้าไปในวงแหวน porphyrin ได้เป็น Mg-protoporphyrin ซึ่งเป็นขั้นตอนจำเพาะขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ต่อมากลุ่ม methyl จะเชื่อมต่อกับ Mg-protoporphyrin ที่แขนงของวงแหวน C ด้วยพันธะเอสเตอร์ได้เป็น Mg-protoporphyrin IX monomethyl ester หรือ MPE จากนั้นแขนงของ Mg-protoporphyrin นี้ขมวดตัวเป็นวงแหวนได้ divinyl protochlorophyllide แล้วตามด้วยปฏิกิริยารีดักชันที่แขนงของวงแหวน B และในวงแหวน D ได้เป็น chlorophyllide *a* จากนั้นหาง phytol จึงเข้ามาเชื่อมต่อด้วยพันธะเอสเตอร์ได้เป็นคลอโรฟิลล์ เอ ส่วนคลอโรฟิลล์ บี จะได้จากการที่กลุ่ม methyl ในวงแหวน B ถูกออกซิไดซ์เป็นแอลดีไฮด์เป็น chlorophyllide *b* ก่อนที่จะจับกับหาง phytol (จริงแท้, 2549)

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2546)

โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา แต่ในระหว่างการชราภาพ (senescence) การสลายตัวจะเกิดขึ้นมากกว่าทำให้คลอโรฟิลล์หมดไปในที่สุด กลไกของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ อาจเกิดขึ้นดังนี้

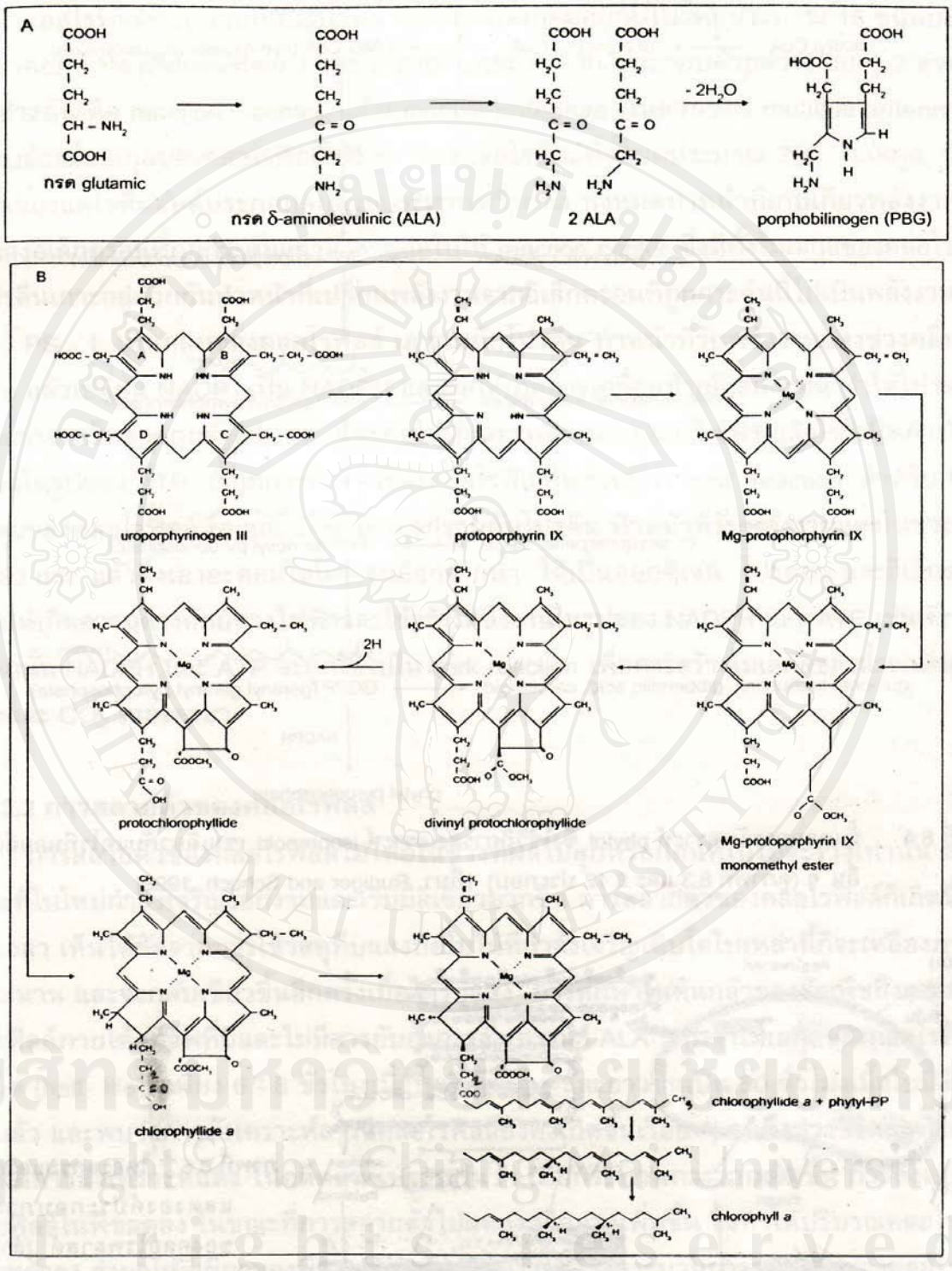
1. สภาพที่เป็นกรด ทำให้อะตอมของแมกนีเซียมหลุดออกไปจากส่วนหัวของโมเลกุลได้สาร pheophytin ซึ่งยังคงมีสีเขียวอยู่

2. การทำงานจองเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) ซึ่งพบมากในขณะที่ผลแอบเปิลและกล้วยหอมกำลังสุก chlorophyllase จะแยกส่วนหัวและส่วนหางของโมเลกุลออกจากกันแต่ผลที่ได้ยังคงมีสีเขียวอยู่

3. สีเขียวของคลอโรฟิลล์จะหมดไปก็ต่อเมื่อ double bond ในวงแหวน porphyrin ถูกทำลายลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน การสูญเสียสีเขียวของผลิตผลมักเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการปรากฏขึ้นของสีเหลืองและสีแดงซึ่งเป็นสารสีอีกประเภทหนึ่ง

ตามปกติมักเกิดร่วมกับการสังเคราะห์รงควัตถุชนิดอื่นๆ เช่น คาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน ซึ่งในเนื้อเยื่อทั่วไปมักมีคาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินปะปนอยู่ แต่สีของคาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังอยู่ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไปสีของคาโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินจึงปรากฏเด่นชัดออกมาได้ (Kays, 1991) (ภาพ 2.4)

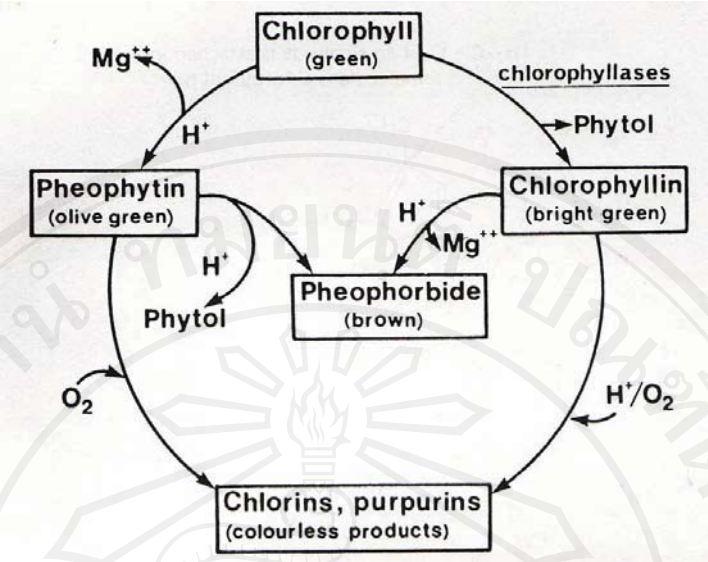
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.3 การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

ที่มา : Gross, 1987; Von Wettstein *et al.,* 1995

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.4 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์

ที่มา : Wills *et al*., 1998

2. คาโรทีนอยด์ (carotenoids) (จริงแท้, 2549)

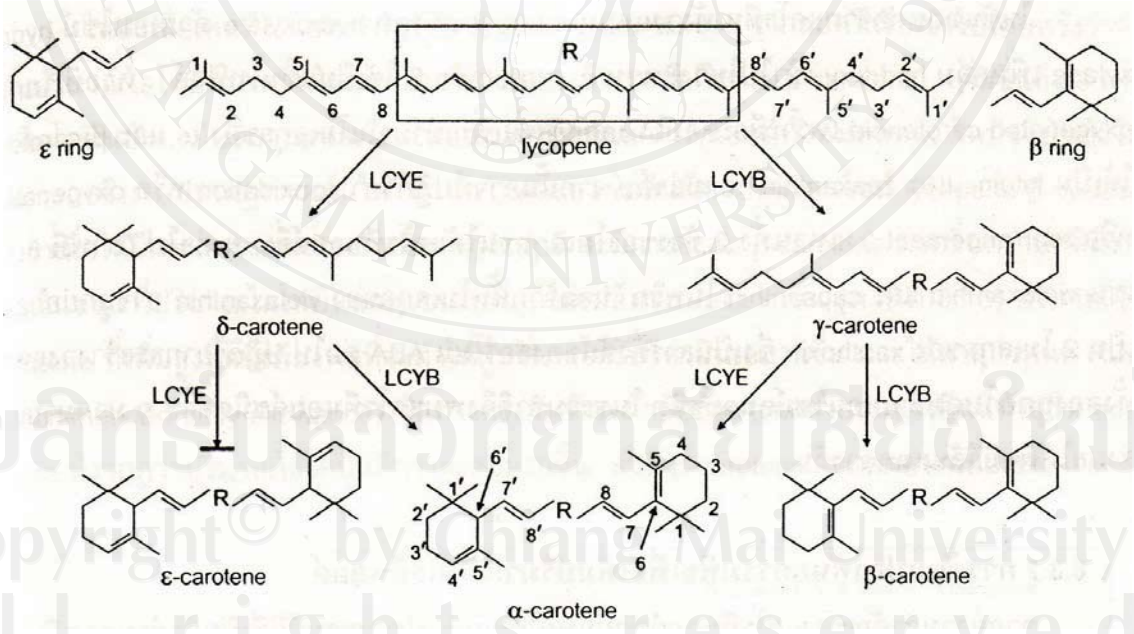
คาโรทีนอยด์เป็นสารสีที่ให้สีเหลือง ส้ม และแดงแก่ส่วนต่างๆ ของพืช ช่วยดึงดูดแมลงและสัตว์มายังดอกไม้และผลไม้ สุก ทำให้เกิดการถ่ายละอองเรณูได้ดีขึ้น และช่วยในการแพร่กระจายของเมล็ด คาโรทีนอยด์เป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) มีคาร์บอน 40 อะตอมได้แก่ แคโรทีน ไลโคปีน และแซนโทฟิลล์ เป็นต้น คาโรทีนอยด์เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในไขมัน ภายในเซลล์ของพืช คาโรทีนอยด์จึงถูกจำกัดอยู่ภายในออร์แกเนลล์ที่มีเนื้อเยื่อหุ้มล้อมรอบที่เรียกว่า โครโมพลาสต์ (chromoplast) แคโรทีนจัดว่าเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกายของคนและสัตว์ ส่วนไลโคปีน และแซนโทฟิลล์นั้นไม่มีคุณสมบัติดังกล่าว ในผักและผลไม้มักจะมีแคโรทีนและแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ ต่อเมื่อผักและผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพ คลอโรฟิลล์สลายตัวไป สีของคาโรทีนอยด์นี้จึงปรากฏให้เห็น โดยที่ปริมาณของคาโรทีนอยด์ในผักและผลไม้ค่อนข้างคงที่ไม่ได้เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เช่น ในกรณีของกล้วยหอมและส้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ (จริงแท้, 2549)

การสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เกิดขึ้นภายในพลาสทิด โดยอาศัยวิถีการสังเคราะห์ isoprenoid ซึ่งเป็นวิถีสังเคราะห์ร่วมกับสารประกอบอื่นๆ ในวิถีสังเคราะห์ isoprenoid นี้มี isopentenyl pyrophosphate (IPP) เป็นสารประกอบตั้งต้นหลัก ซึ่งมีคาร์บอนอะตอมอยู่ 5 อะตอมก่อนที่จะเกิดการรวมตัวกันด้วยปฏิกิริยาต่างๆ เป็นสารประกอบต่างๆ ที่มีจำนวนคาร์บอนมากขึ้น จากโมเลกุลของ IPP กระบวนการสร้างคาโรทีนอยด์เกิดขึ้นด้วยเอนไซม์ IPP isomerase ซึ่งเปลี่ยน IPP ไปเป็น dimethylallyl diphosphate (DMAPP) จากนั้นโมเลกุลของ IPP จะเข้ารวมตัวกับ DMAPP จนได้ geranylgeranyl pyrophosphate (GGPP) แล้ว GGPP จึงรวมตัวกันโดยอาศัยเอนไซม์ phytoene synthase ได้เป็น phytoene ซึ่งมีคาร์บอน 40 อะตอม และ phytoene จะผ่านขั้นตอน desaturation ได้ไลโคปีน ซึ่งนับได้ว่าเป็นคาโรทีนอยด์ตัวแรก

จากนั้นที่ปลายทั้ง 2 ของโมเลกุลไลโคปีนจะถูกขมวดเป็นวงแหวน ซึ่งอาจเป็นได้ 2 ลักษณะ คือ วงแหวน β และ ε โดยอาศัยเอนไซม์ lycopene-β-cyclase และ lycopene-ε-cyclase ได้เป็น α-carotene ซึ่งมีวงแหวน β และ ε อยู่คนละข้างของโมเลกุล หรือ β-carotene ซึ่งมีวงแหวน β ring ทั้ง 2 ข้างของโมเลกุล (ภาพ 2.5)



ภาพ 2.5 การขมวดตัวเป็นวงแหวนที่ปลายของโมเลกุลไลโคปีน ได้เป็นคาโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ

ที่มา : Cunninggham and Gantt, 1998

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

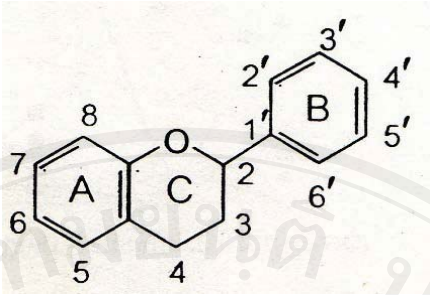
การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาโรทีนอยด์ในผลไม้ (จริงแท้, 2549)

การเปลี่ยนแปลงของคาโรทีนอยด์ในผลไม้ โดยปกติผลไม้มักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือแดง ในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว คลอโรพลาสต์ซึ่งมีทั้งโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และคาโรทีนอยด์ จะพัฒนาไปเป็นโครโมพลาสต์ ซึ่งคลอโรฟิลล์สลายตัวไปในขณะที่คาโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้นมามากขึ้นหรือมีปริมาณคงที่เท่าเดิม การสร้างคาโรทีนอยด์มากขึ้นนี้ถูกควบคุมโดยยีนของเอนไซม์ต่างๆ ในวิถีการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดและเนื้อเยื่อของผลไม้ ส่วนการสลายตัวของคาโรทีนอยด์ระหว่างการเก็บรักษานั้น โดยทั่วไปคาโรทีนอยด์ ค่อนข้างจะเสถียรอยู่ภายในพืชระหว่างการเก็บรักษา หลังการเก็บเกี่ยวปริมาณคาโรทีนอยด์ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะโมเลกุลของคาโรทีนอยด์อยู่ภายในออร์แกเนลล์ คลอโมพลาส ต์ และเกาะอยู่กับโปรตีนบนเยื่อหุ้มหรือรวมตัวกันเป็นผลึกจึงปลอดภัยต่อการสลายตัวจากปัจจัยภายนอก

3. แอนโทไซยานิน (anthocyanins) (จริงแท้, 2549)

แอนโทไซยานินเป็นสารสีที่ละลายน้ำได้ พบในแวคิวโอลของเซลล์ที่ผิว (epidermis) ที่ส่วนต่างๆ ของพืช ความเป็นกรดเบส (pH) มีอิทธิพลต่อสีที่ปรากฏค่อนข้างมาก ทำให้เกิดสีในช่วงสีแดง ม่วง และน้ำเงิน โดยจะบดบังสีเขียวและเหลืองของคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ไว้ แอนโ ทไซยานิน เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2 วง เชื่อมต่อกันด้วยแกนของคาร์บอน 3 อะตอม เรียกว่า flavan บนวงแหวนเบนซีนทั้ง 2 กลุ่ม hydroxyl เกาะอยู่ได้ในหลายรูปแบบ โดย flavan ประกอบด้วยวงแหวน A, B, และ C ซึ่งวงแหวน A และ B เป็นวงสำคัญที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น จะทำให้เปลี่ยนโครงสร้างเป็นอนุพันธ์ตัวอื่นๆ และมีวงแหวน C เป็นตัวเชื่อมระหว่างวงแหวน A และ B (ภาพ 2.6) (Gross, 1987) ฟลาโวนอยด์ จึงจัดเป็นสารประกอบฟีนอลชนิดหนึ่งด้วย เพราะมีส่วนของฟีนอล (phenol) เป็นองค์ประกอบฟีนอลเองก็อาจจัดเป็นสารสีได้เพราะอาจให้สีน้ำตาลในพืชในบางกรณี ฟลาโวนอยด์เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีอยู่ภายในแวคิวโอลของพืช มีแอนโทไซยานิน ฟลา โวน (flavone) และฟลาโวนอล (flavonol) เป็นกลุ่มหลัก นอกจากแอนโทไซยานินแล้ว ฟลาโวนอยด์กลุ่มอื่นมักไม่มีสีหรือมีสีเหลืองแต่อาจช่วยให้เกิดสีต่างๆ ขึ้นได้มากเมื่อรวมกับสารอื่น

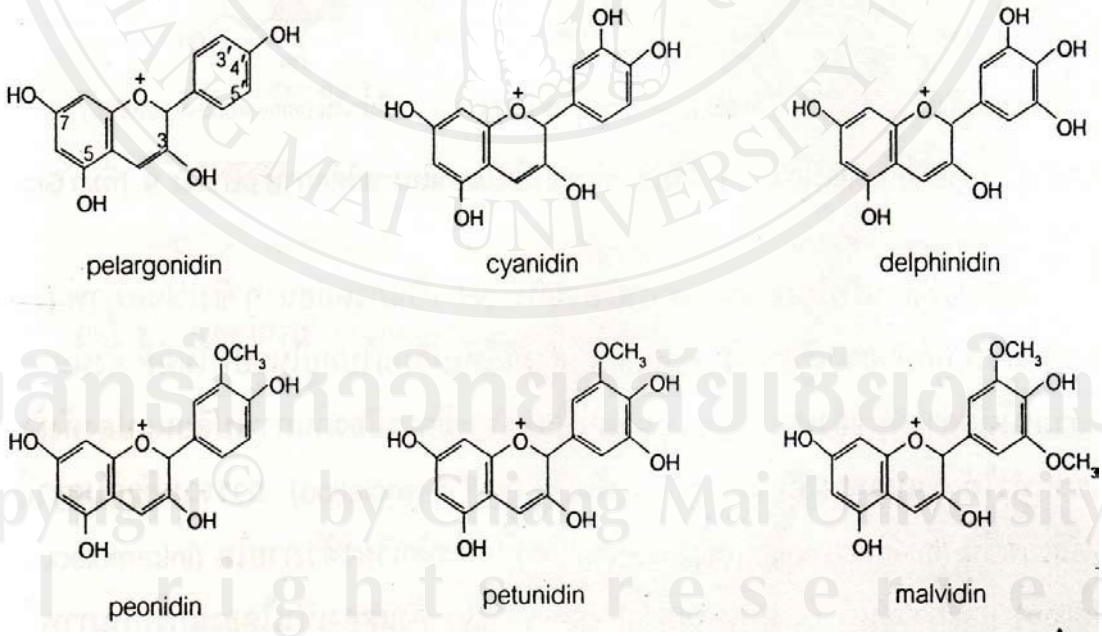
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.6 โครงสร้างแกนหลัก (flavan) ของแอนโทไซยานิน

ที่มา : Gross, 1987

ฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชมักอยู่ในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) โดยมีน้ำตาลมาเกาะที่กลุ่ม hydroxyl กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งหรือมากกว่า นอกจากนั้นยังอาจมีกลุ่ม methyl หรือกรดในกลุ่ม cinnamic acid ต่างๆ มาเกาะอยู่ด้วยฟลาโวนอยด์ที่ไม่มีน้ำตาลเกาะอยู่บนโมเลกุล เรียกว่า aglycone ส่วนแอนโทไซยานินที่ไม่มีน้ำตาลมาเกาะ เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) (ภาพ 2.7)



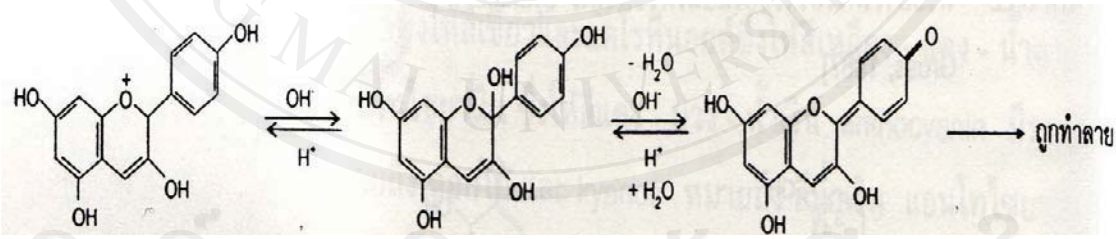
ภาพ 2.7 แอนโทไซยานินชนิดต่างๆ ที่มีแขนงบนแกนหลัก flavan แตกต่างกันไป

ที่มา : Gross, 1987

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณสมบัติของสารประกอบแอนโทไซยานิน (จริงแท้, 2549)

ในสภาพเป็นกรด แอนโทไซยานินดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีเขียว ความยาวคลื่ น 465-550 nm โดยวงแหวน B และในช่วงแสงอัลตราไวโอเลต ความยาวคลื่น 270-280 nm โดยวงแหวน A การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินนี้ เปลี่ยนแปลงได้เมื่อกลุ่มต่างๆ ที่มาเกาะกับโครงสร้างหลักเปลี่ยนแปลงไป เช่น เมื่อเกิด hydroxylation หรือเพิ่มหมู่ hydroxyl เข้าไปจะทำให้ช่วงการดูดกลืนแสงขยับเข้าไปในช่วงคลื่นที่ยาวขึ้น แต่เมื่อเกิด glycosylation หรือมีน้ำตาลเข้ามาเกาะกับคาร์บอนตำแหน่งต่างๆ การดูดกลืนแสงจะขยับเข้าไปในช่วงคลื่นที่สั้นลง และเมื่อเกิด acylation หรือมีหมู่ acyl ของกรดในกลุ่ม cinnamic acid ต่างๆ มาเกาะกับน้ำตาลจะทำให้มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น อีกในช่วงความยาวคลื่น 310-335 nm แต่การมีหมู่ methyl เข้ามาเกาะไม่ทำให้การดูดกลืนแสงเปลี่ยนไปมากนัก จากการดูดแสงของแอนโทไซยานินดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้แอนโทไซยานินทำตัวเหมือน indicator ในสารละลาย กล่าวคือ มีโครงสร้างและสีเปลี่ยนแปลงไปตาม pH ของสารละลาย ในสารละลายที่เป็นกรดมากๆ แอนโทไซยานินจะให้สีค่อนข้างแดงของ flavylium cation แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้นในช่วงกรดอ่อนหรือเป็นกลาง สีจะค่อยๆ จางลงจนไม่มีสีของ pseudobase เมื่อสารละลายมีสภาพเป็นเบสอ่อน จะให้สีน้ำเงินของ anhydrobase แอนโทไซยานินทั้ง 3 รูปนี้ ยังเปลี่ยนกลับไปกลับมา (reversible) ได้ แต่ในสภาพเป็นด่างจัด แอนโทไซยานินจะถูกทำลายและไม่อาจเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปอื่นได้อีก (ภาพ 2.8)



สีแดง (pH<3 flavylium cation) ไม่มีสี (pseudobase pH4-5) สีน้ำเงิน (androhybase pH7-8) เบสแก่

ภาพ 2.8 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินภายใต้สภาพ pH ต่างๆ

ที่มา : Gross, 1987

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (จริงแท้, 2549)

กระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ เริ่มต้นจากการรวมตัวกันของ malonyl CoA 3 โมเลกุล และ 4-coumaroyl CoA โดยที่วงแหวน A ได้จาก malonyl CoA และวงแหวน B ได้จาก coumaroyl CoA โดย malonyl CoA เกิดจากการ carboxylation โมเลกุลของ acetyl CoA จากกระบวนการหายใจ ซึ่งเป็นกระบวนการเดียวกันกับการเริ่มต้นของการสังเคราะห์กรดไขมัน ต่างๆ ส่วน coumaroyl CoA ได้จากการกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (phenol) ซึ่งเริ่มต้นจากกรดอะมิโน phenylalanine ผ่านการดึงเอากลุ่มอะมิโนออกด้วยเอนไซม์ phenylalanine ammonia -lyase (PAL) ได้ cinnamic acid ตามด้วยขั้นตอนต่างๆ ของการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล เอนไซม์ที่ควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินโดยตรง ได้แก่ chalcone synthase (CHS) ซึ่งกระตุ้นปฏิกิริยารวมตัวกันของ malonyl CoA และ 4-coumaroyl CoA ได้เป็น 4',2',4',6'-tetrahydroxychalcone หรือ chalcone ใ นขั้นตอนต่อมา ได้แก่การเปลี่ยนรูป (isomerization) ของ chalcone ไปเป็น flavanone (naringenin) โดยเอนไซม์ chalcone isomerase (CHl) สาร naring enin อาจถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบฟลาโวนซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์สำคัญกลุ่มหนึ่งโดยเอนไซม์ flavone synthase (FNS) หรือถูกเปลี่ยนไปเป็น dihydrokaempferol ด้วยเอนไซม์ flavanone-3-hydroxylase (F3H) สาร dihydrokaempferol อาจถูกเปลี่ยนไปเป็นฟลาโวนอล ด้วย flavonol synthase (FLS) ซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์สำคัญอีกกลุ่มหนึ่ง หรือถูก hydroxylate โดยเอนไซม์ flavonoid-3'-hydroxylase (F3'H) ไปเป็น dihydroquercetin หรือโดยเอนไซม์ flavonoid-3', 5'-hydroxylase (F3'5'H) ไปเป็น dihydromyricetin จากนั้น dihydrokaempferol, dihydroguercetin และ dihydromyricetin จะผ่านขั้นตอน hydroxylation, glycosy lation และ acylation ได้เป็นแอนโทไซยานินชนิดต่างๆ (ภาพ 2.9)

การกระจายตัวของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ จึงพบสะสมอยู่ในแวคิวโอลภายในเซลล์ สำหรับภายในพืชสามารถพบแอนโทไซยานินได้ในทุกส่วนของต้น ส่วนใหญ่มักพบอยู่ในเซลล์ที่ผิว โดยเฉพาะเนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermis) และในพืชอีกหลายชนิดพบว่ามีการสะสมอยู่ในเซลล์มีโซฟิลล์ (mesophyll) และปริมาณของแอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ในส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกันไป และยังแตกต่างไปตามระยะการพัฒนาพืชด้วย

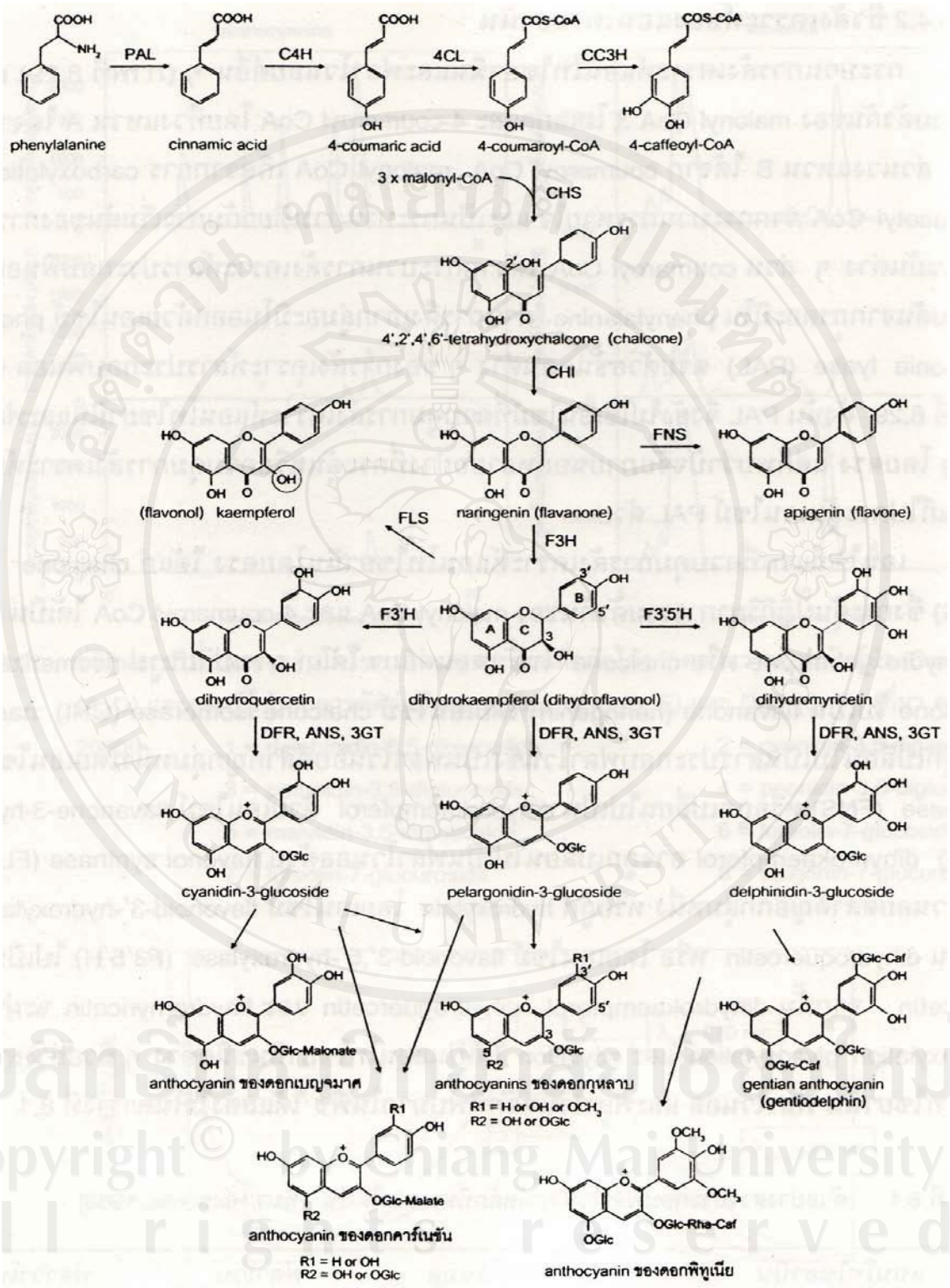
ผลไม้ส่วนใหญ่มีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อผลเข้าใกล้วัยบริบูรณ์หรือแก่ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผลสุกเต็มที่ บางพืชมีแอนโทไซยานินเพียงชนิดเดียว เช่น ผลเสาวรส บางพืชมี 2 ชนิด เช่น ผลท้อ บางพืชมีมากกว่า 20 ชนิด เช่น ผลองุ่น ความแตกต่างของชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอนโทไซยานินในผลไม้ขึ้นอยู่กับน้ำตาลที่มาเกาะกับ aglycone (anthocyanidin) น้ำตาลส่วนใหญ่ที่มาเกาะกับ aglycone เป็นน้ำตาลกลูโคสซึ่งมาเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 5 (3,5-diglucoside) ตัวอย่างที่พบในลิ้นจี่และทับทิม นอกจากนั้นยังพบว่ามีกรดต่างๆ มาเกาะอยู่ด้วย ได้แก่ cinnamic acid, p-coumaric acid และ caffeic acid รวมทั้งกรด acetic สำหรับปริมาณของแอนโทไซยานินในผล โดยเฉลี่ยมีประมาณ 50 mg/100 g โดยผันแปรอยู่ตั้งแต่ 16–400 mg/100 g ส่วนใหญ่พบสะสมในแวคิวโอลของเปลือกหรือผิวของผลไม้ (จริงแท้, 2549)

จากการศึกษาการพัฒนาสีแดงของเปลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนกพบว่า ค่าสีแดงของเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วง 35-77 วันหลังดอกบาน ต่อมาในช่วง 84-98 วันหลังดอกบาน ค่าสีแดงจะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ (สรรพมงคล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



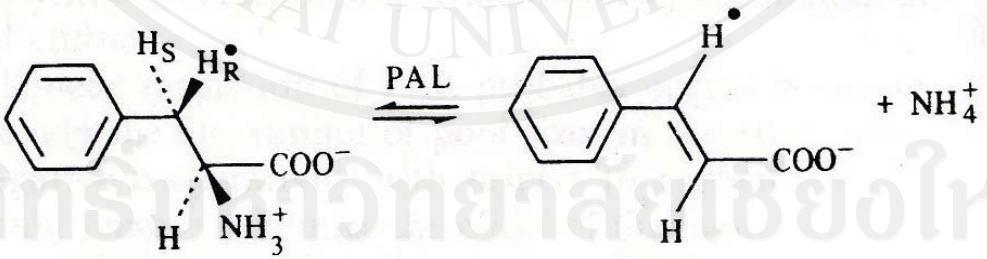
ภาพ 2.9 การสังเคราะห์แอนโทไซยานินในพืชบางชนิด

ที่มา : Tanaka *at el.,* 1998

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 เอนไซม์ฟีนิลอะลานีน แอมโมเนีย-ไลเอส (phenylalanine ammonia-lyase; PAL)

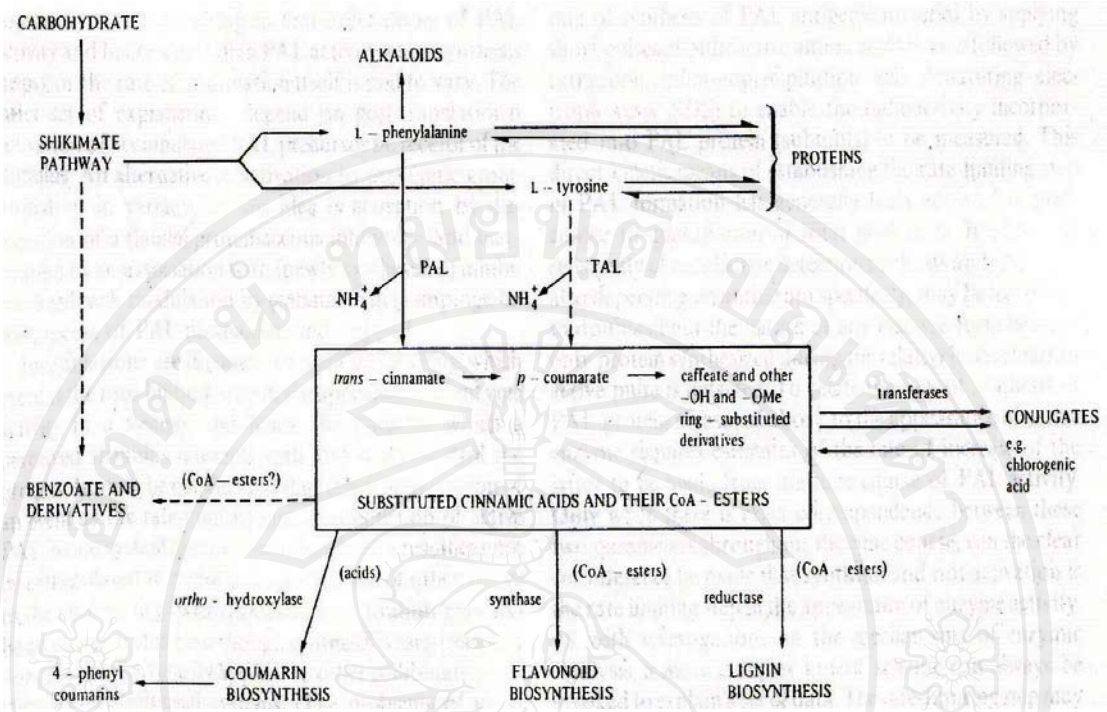
เอนไซม์ฟีนิลอะลานีน แอมโมเนียม -ไลเอส (PAL; EC.4.3.1.5) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการดึงหมู่แอมโมเนียและไฮโดรเจนออกจากโมเลกุลของสารตั้งต้น โดยที่ไม่อาศัยน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาซึ่งช่วยเปลี่ยนรูปของ L-phenylalanine เป็น trans-cinnamate (ภาพ 2.10) และเป็นเอนไซม์ตัวแรกในกระบวนการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์และกระบวนการสังเคราะห์ฟีนิลโพรพานอยด์ (ภาพ 2.11) ซึ่งเกี่ยวข้องกับสารทุติยภูมิหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิค แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ แทนนิน และลิกนิน เป็นต้น โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิคหรือผลิตภัณฑ์ตัวสุดท้ายในกระบวนการสังเคราะห์ฟีนอลิคจะเป็นตัวควบคุมแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL ทั้งนี้อัตราการสะสมแอนโทไซยานินอาจจะถูกควบคุมโดยทั้งแอกทิวิตีของ เอนไซม์ PAL หรือระดับความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Jones, 1984; Ju *et al*., 1995) และสามารถติดตามการสร้างแอนโทไซยานินได้ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล โดยเอนไซม์ PAL มีผลโดยตรงต่อการสร้างสารตั้งต้นของแอนโทไซยานินคือ มีผลต่อการสร้างโครงหลักของสารประกอบฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นโมเลกุลพื้นฐานของ แอนโทไซยานิน เอนไซม์ PAL ถ้ามีแอกทิวิตีมากก็จะทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินในระดับที่สูงขึ้น แต่ถ้ามีแอกทิวิตีน้อยทำให้การสังเคราะห์แอนโทไซยานินลดต่ำลงได้และในการทำงานของเอนไซม์ PAL ถูกกระตุ้นได้โดยแสงชนิดต่างๆ เช่น แสงอัลตราไวโอเลต หรือแสงสีม่วงหรือสีน้ำเงินอาจเนื่องมาจากการตอบสนองของไฟโตโครม (phytochrome) ต่อช่วงแสง (Saure,1990)



ภาพ 2.10 กระบวนการดึงหมู่แอมโมเนียของ L–phenylalanine โดยมีเอนไซม์ PAL เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ที่มา : Jones, 1984

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.11 กระบวนการสังเคราะห์สารที่สำคัญที่เกิดจากกระบวนการฟีนิลโพรพานอยด์

ที่มา : Jones, 1984

2.5 สารประกอบฟีนอลิค (phenolic compounds) (ศิริวรรณ และสุวรรณา, 2527)

สารประกอบฟีนอลิค เป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีจำนวน hydroxyl substituents อย่างน้อยหนึ่ง กลุ่มหรือมากกว่านั้น สามารถละลายได้ในน้ำ ที่พบในพืชมักจะรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล (sugar) ในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (gly cosides) สารประกอบฟีนอลิคที่พบในธรรมชาติมีหลายกลุ่ม และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน กลุ่มใหญ่ที่พบจะเป็นกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoids) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบต่างๆ เช่น simple monocyclic phenols, phenyl propanoids, phenolic quinine และ polyphenolic ซึ่งได้แก่พวก ลิกนิน (lignin) เมลานิน (melanin) เทนนิน (tannin) เป็นต้นรวมทั้งยังพบว่าสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอล (phenolic units) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (alkaloid) และ เทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

หน้าที่ของสารประกอบฟีนอลิคเหล่านี้ เช่น ลิกนิน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช สารกลุ่มแอนโทไซยานิน เป็นสารที่ให้สีในดอกไม้ สารในกลุ่ม ฟลาโวนอยด์มีความสำคัญ ในการควบคุมการเจริญของ พืชจำพวกถั่ว (pea) ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลิคที่พบใน

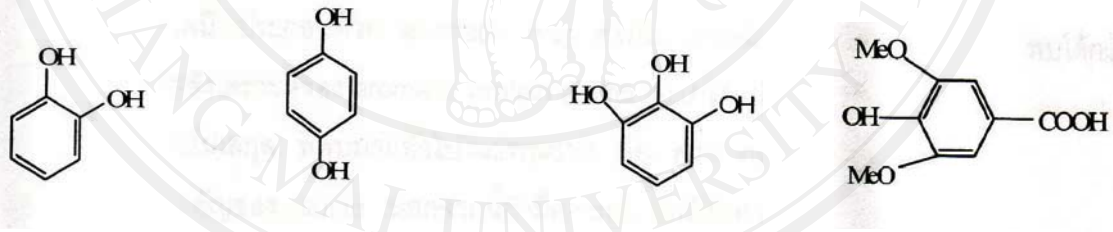
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และพบได้ในสารประกอบที่มี aromatic units ทั่วไป โดยจำแนกเป็นกลุ่มได้ดังนี้ คือ

- simple phenolic compound : phenols, phenolic acids
- phenylpropanoids : courmarins
- polyphenolic compounds : tannins
- stilbenes, xanthones, minor flavonoids
- flavonoid pigments, flavonols, flavonoids
- quinine pigments, anthroquinone, napthaquinones
- anthocyanins
- miscellaneous phenols

1. สารประกอบฟีนอลิคอย่างง่าย (simple phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิคนี้พบโดยทั่วไปตามธรรมชาติ อาจจะอยู่ในรูปของ phenols หรือphenolic acids มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดัง ภาพ 2.12



catechol hydroquinone pyrogallol syringic acid

ภาพ 2.12 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลบางชนิดที่พบในธรรมชาติ

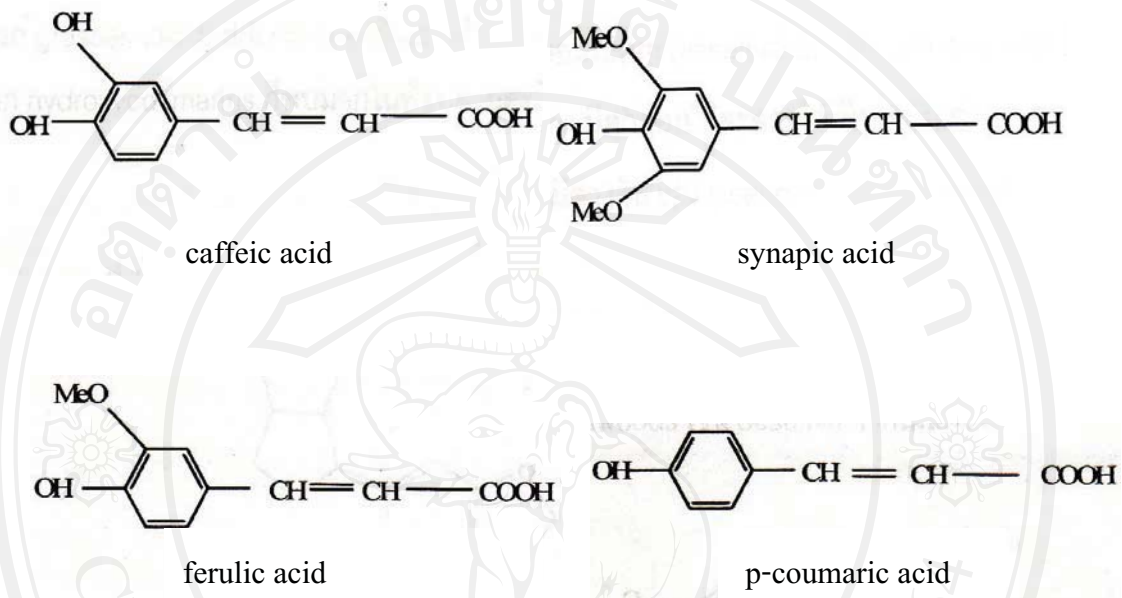
ที่มา : Stafford and Ibrahim, 1992

2. สารประกอบฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids)

สารประกอบฟีนิลโพรพานอยด์ เป็นสารประกอบฟีนอลิคที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ประกอบด้วย aromatic ring ต่อกับ 3-carbon site chain ได้มาจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ของ aromatic protein amino acid ได้แก่ phenylalanine ซึ่งมี C6-C3 residue อยู่ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุล ที่พบมากทั่วไปในธรรมชาติ คือ พวก hydroxycinnamic acid ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของ lignin (ภาพ 2.13)



ภาพ 2.13 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ hydroxycinnamic acids ที่พบในธรรมชาติ

ที่มา : Stafford and Ibrahim, 1992

3. ตัวอย่างของสารประกอบพอลิฟีนอลิค (polyphenolic compounds)

สารเหล่านี้ที่แยกได้จากพืชในปริมาณมากคือ

- แทนนิน (tannin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง phenolic nuclei และน้ำตาล หรือ polyhydric alcohol (hydrolysable tannin) และแป้งหรือโปรตีน (condense tannin)

- ลิกนิน (lignin) เป็น mixed polymer ของ cinnamyl alcohol derivatives 3 ชนิด คือ p-coumaryl, coniferyl และ sinapyl alcohols เป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงแก่เนื้อไม้

4. ไมเนอฟลาโวนอยด์ (minor flavonoids)

เป็นกลุ่มของฟลาโวนอยด์ที่พบไม่มากนักแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

- ฟลาวาโนน (flavanones) เป็นสารที่ไม่มีสี พบมากในใบและผล ในแสงอัลตราไวโอเลต จะมีสีม่วงและถ้าถูกไอแอมโมเนียด้วยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เขียวเหลือง เป็น simple reduction

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

product ของ flavones และ flavonols พบมากในพืชชั้นสูง โดยมักรวมกับ complex sugar อยู่ในรูป glycoside เช่น naringgenin ในพืชตระกูลส้ม

- ไอโซฟลาโวน (isoflavones) เป็นสารที่ไม่มีสี ในแสงอัลตราไวโอเลตจะให้สีม่วง ซึ่งเมื่อถูกไอแอมโมเนียด้วยจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลอ่อน

- ชาโคน และออโรน (chalcones and aurones) เป็น isomer ที่ไม่คงตัวของฟลาวาโนน ที่เมื่อถูกไอแอมโมเนียจะเปลี่ยนเป็นสีแสด หรือสีแดง

2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล

น้ำตาลที่พบมากในผักและผลไม้มีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) และ ฟรักโทส (fructose) ซึ่งพบสะสมอยู่ในแวคิวโอลเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดในผลิตผลต่างๆ แตกต่างกันออกไป บางชนิดมีซูโครสอยู่มาก ในขณะที่บางชนิดไม่มีซูโครสอยู่เลย ทำให้รสชาติของผักและผลไม้แต่ละชนิดต่างกันออกไป (จริงแท้, 2538) ซึ่งในการศึกษามักจะรวมน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสเข้าด้วยกัน เรียกว่า น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ในผลไม้ส่วนใหญ่มักจะมีน้ำตาลกลูโคสมากกว่าฟรักโทส (ดนัย, 2534)

วุฒิคุณ (2530) พบว่าผลมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายใน น้ำได้ (total soluble solids) ในช่วงแรกค่อนข้างน้อยเพราะมะม่วงมีการสะสมแป้งมากกว่าน้ำตาล แต่เมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นแป้งจะสลายไปเป็นน้ำตาลส่งผลให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่วนกระบวนการสะสมแป้งในช่วงแรกจะทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเนื่องจากน้ำตาลกลูโคสจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แป้ง (ภาพ 2.14)

glucose + glucose 1-phosphate + ATP $\longrightarrow$ **ADPG + Pi** $\longrightarrow$ **starch + ATP**

(1) = ADPG-pyrophosphorylase enzyme

(2) = starch synthase enzyme

ภาพ 2.14 กระบวนการสังเคราะห์แป้งจากน้ำตาลกลูโคส

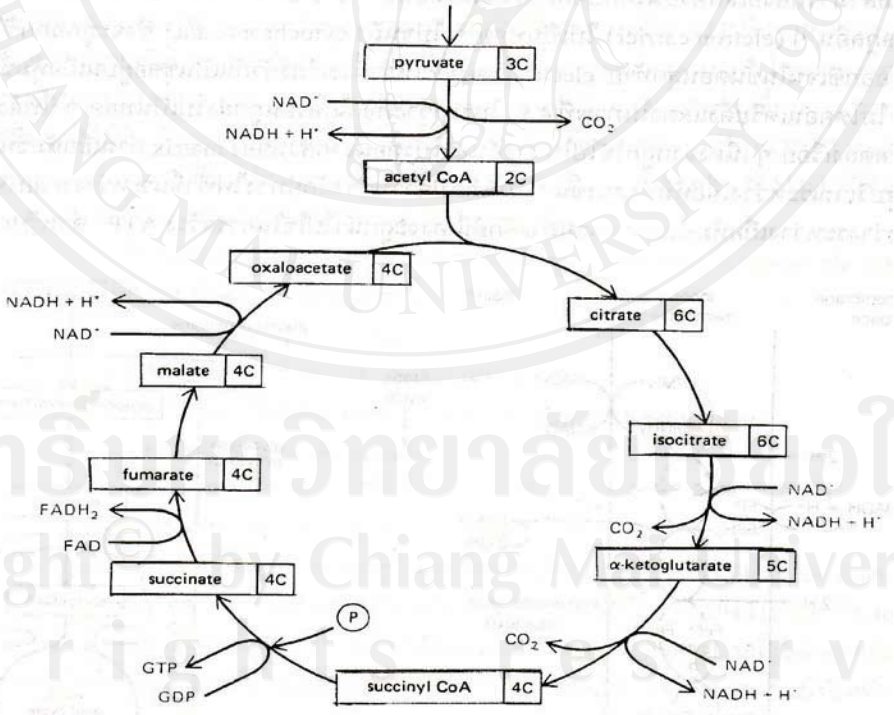
ที่มา : Pilnik and Voragen, 1970

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด

ขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการหายใจประกอบด้วยโมเลกุลของกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดไพรูวิก (pyruvic acid) และกรดอื่นๆ ดังเห็นได้ในวัฏจักเครปส์ (Krebs cycle) (ภาพ 2.15) แต่กรดที่พบในปริมาณมากในผักและผลไม้มักจะอยู่ในรูปของเกลือของกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) เป็นต้น โดยกรดซิตริกซึ่งพบมากในมะม่วงเกิดจาก acetyl CoA รวมกับกรดออกซาโลอะซิติก (oxaloacetic acid) จนได้กรดซิตริก จากนั้นกรดซิตริกก็จะเปลี่ยนไปเป็นสารตัวอื่นๆ ต่อไป ในวัฏจักรเครปส์ โดยกรดมักถูกเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลในปริมาณมาก ในช่วงผลอ่อนจะมีการสะสมของกรดมาก เนื่องจากการสะสมกรดเหล่านี้อาจได้มาจากสารตัวกลางในวัฏจักรเครปส์ การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนและการเคลื่อนย้ายกรดอินทรีย์จากส่วนต่างๆ ของพืช (Kays, 1991)

ในมะม่วงพันธุ์ Keitt จะมีกรดลดลงเมื่อผลมะม่วงแก่เพิ่มขึ้นโดยกรดซิตริกเป็นกรดหลักที่มีปริมาณลดลงมากที่สุด (Medlicott and Thompson, 1985) เช่นเดียวกับ สรรพมงคล (2545) ซึ่งพบว่าปริมาณกรดซิตริกมีมากในผลอ่อนของมะม่วงพันธุ์มหาชนกและลดลงมากเมื่อผลแก่ หรือสุก



ภาพ 2.15 แผนภูมิแสดงขั้นตอนต่างๆ ของ Krebs cycle

ที่มา : จริงแท้, 2538

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงผลอ่อนจนถึงผลแก่โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อลดลงบ้างในช่วงผลแก่ โดยมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงหลายๆ พันธุ์ ได้แก่ มะม่วงพันธุ์ทองดำเมื่อผลมะม่วงมีอายุ 2 สัปดาห์ มีความแน่นเนื้อค่อนข้างต่ำคือ 5.08 kg/cm^2 หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่จะมีความแน่นเนื้อเท่ากับ 19.26 kg/cm^2 (สายชลและคณะ, 2534) มะม่วงพันธุ์มหาชนกความแน่นเนื้อของผลจะเริ่มมีค่าลดลงมากเมื่อผลอายุ 98 วันหลังดอกบาน และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อผลมีอายุเพิ่มขึ้นโดยผลที่มีอายุ 119-133 วันหลังดอกบาน มีค่าความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 23.0-24.2 kg/cm^2 (สรรพมงคล, 2545)

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีแดง

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาสีผิวของของผลมะม่วงพันธุ์มหาชนก มีหลายอย่างแต่ที่มีบทบาทสำคัญในเรื่องนี้ได้แก่ แสงและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

แสง (light)

ผลของแสงในการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PAL อาจแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของพืชและพันธุ์พืช ซึ่งในพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อแสงแตกต่างกันไป ดังมีรายงานการศึกษาการสะสมแอนโทไซยานินภายใต้สภาพที่ได้รับชนิดของแสง ความเข้มของแสง รวมทั้งระยะเวลาที่ได้รับแสงแตกต่างกันในพืชต่างๆ ทั้งนี้พลังงานแสงที่มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินอาจเป็นแสงจากดวงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น (Siegelman and Hendricks, 1958; Saure, 1990) ดังมีรายงานการศึกษาดังนี้

ราศี (2531) ทำการเก็บเกี่ยวแอบเปิลพันธุ์ Anna ที่อายุ 117 วันหลังจากดอกบาน แล้วนำไปให้แสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้ม 21 W/m^2 และ 30 W/m^2 (25-29 °C, 60% RH) นาน 72 ชั่วโมง พบว่าแสงสามารถกระตุ้นการสร้างแอนโทไซยานินได้โดยแอนโทไซยานินจะมีค่าเพิ่มขึ้น

Siegelman and Hendricks (1958) ศึกษาผลของระยะเวลาที่ได้รับแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในผลแอบเปิลพันธุ์ Fuji โดยเก็บเกี่ยวผลที่มีสีเขียวมาให้ได้รับแสง 20 ชั่วโมง พบว่าผลเริ่มมีการสังเคราะห์และสะสมแอนโทไซยานิน ภายหลังจากที่ได้รับแสงเป็นเวลา 12-15 ชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Proctor (1974) ศึกษาผลของระยะเวลาที่ได้รับแสงสีขาว ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL ในผลแอบเปิล 7 สายพันธุ์ คือ McIntosh, Delicious, Northern Spy, Idared, Mutsu, Cortland และ Spartan ที่มีอายุ 130วันหลังดอกบาน โดยเก็บเกี่ยวผลมาให้ได้รับแสงสีขาวเป็นเวลา 0, 12, 24, 36 และ48 ชั่วโมงอุณหภูมิ 15 ˚C พบว่าผลที่ได้รับแสงสีขาวนาน48ชั่วโมงมีปริมาณแอนโทไซยานิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL สูงที่สุด โดยที่ปริมาณแอนโทไซยานินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ได้รับแสงที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย

Dong *et al.* (1995) ศึกษาผลของระยะเวลาที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเลตต่อการเกิดสีแดงและปริมาณแอนโทไซยานินรวมทั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลแอบเปิลพันธุ์ Royal Gala โดยทำการห่อผลที่มีอายุ 70 วันหลังดอกบาน และเก็บเกี่ยวผลเมื่ออายุ 140 วันหลังดอกบาน มาเก็บรักษาที่ 4 ˚C ในสภาพที่ไม่มีแสงเป็นเวลา 3 วัน แล้วทำการฉายแสงอัลตาไวโอเลตที่อุณหภูมิ 14 ˚C เป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 วัน โดยระหว่างนี้ทุกวันนำผลมาวิเคราะห์ พบว่าแอนโทไซยานินมีปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเลต โดยผลที่ได้รับแสงเป็นเวลา 6 วัน มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าช่วงเวลาอื่น รวมทั้งเปลือกผลมีสีแดงสูงสุดด้วย ส่วนแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL มีปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่ได้รับแสงเช่นกัน โดยผลที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 6 วัน มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL สูงที่สุด รวมทั้งสีเปลือก ปริมาณแอนโทไซยานิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ PALมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

Saks *et al.* (1995) พบว่าการให้แสงฟลูออเรสเซนต์ทำให้ไหลสีขาวของสตรอเบอร์รีพัฒนาเป็นสีแดงได้ และกล่าวอีกว่าแสงไม่มีผลต่อคุณภาพและการเน่าเสีย

Basu and Chand (1996) ศึกษาผลของแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ต่อปริมาณแอนโทไซยานินในเนื้อเยื่อใบเลี้ยงของต้นกล้า *Hyoscyamus muticu s* ที่ได้รับแสงสีขาวเวลา 16 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับแสง เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าชุดที่ได้รับแสงมีการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้นในขณะที่ชุดที่ไม่ได้รับแสงไม่มีการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินเกิดขึ้นเลย

Ju (1998) ศึกษาผลของแสงฟลูออเรสเซนต์ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและการเกิดสีแดงในเปลือกผลแอบเปิลพันธุ์ Deli cious โดยทำการห่อผลตั้งแต่ผลมีอายุ 30 วันหลังดอกบาน จนกระทั่งผลมีอายุ 62 วัน หลังดอกบาน แล้วเก็บผลมาให้ได้รับแสงฟลูออเรสเซต์ 2,000 lux ตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 25 ˚C เป็นเวลา 6 วัน โดยในระหว่างนี้ทุกๆ วันทำการนำผลมาวิเคราะห์สีเปลือกและปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 6 วัน ในขณะที่สีเปลือกผลมีการเกิดสีแดงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ไม่ได้รับแสงฟลูออเรสเซนต์ในพืชบางชนิด เช่น ลิ้นจี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แสงไม่มีผลโดยตรงต่อการสร้างรงควัตถุแอนโทไซยานิน แต่เป็นปัจจัยเสริมที่ช่วยให้มีการสร้างแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ไม่ได้รับแสง (จำนงค์และคณะ, 2542)

Shi *et al*. (2000) ทำการศึกษาปัจจัยของแสงต่อการพัฒนาสีแดงในแอบเปิลพันธุ์ Fuji พบว่าแอนโทไซยานินมีการพัฒนามากขึ้นในผลที่ได้รับแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยที่ความเข้มแสง 80 W/m^2 มีการพัฒนามากกว่าผลที่ได้รับแสง 40 W/m^2

Real and Lancaster (2001) ศึกษาผลของแสงอัลตราไวโอเลตต่อปริมาณแอนโทไซยานินในระหว่างการเก็บรักษาผลแอบเปิลพันธุ์ Royal และ Gala โดยเก็บเกี่ยวผลที่มีอายุ 129-14 2 วันหลังดอกบาน มาได้รับแสงอัลตราไวโอเลตตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 10 ˚C เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 ˚C เป็นเวลา 30 วัน โดยในระหว่างนี้ทุกๆ 10 วัน เก็บผลมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินทุกระยะการเก็บมีปริมาณสูงกว่าชุดที่ไม่ได้รับแสงอัลตราไวโอเลตตลอดระยะการทดลอง

Farzad *et al*. (2003) ศึกษาผลของแสงฟลูออเรสเซนต์ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณ mRNA ของ PAL gene รวมทั้งยีนอื่นๆ ที่อยู่ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ของกลีบดอก *Viola ornuta* โดยทำการให้แสงฟลูออเรสเซนต์แก่ดอก *Viola ornuta* ที่มีอายุ 2-5 วันหลังจากดอกบาน (ซึ่งระยะนี้กลีบดอกมีสีขาว) เป็นเวลา 8 วัน จากนั้นนำกลีบดอกมาวิเคราะห์ ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณ mRNA ของ PAL gene รวมทั้งยีนอื่นๆ พบว่าดอกที่ได้รับแสงฟลูออเรสเซนต์กลีบดอกมีสีม่วงเกิดขึ้น รวมทั้งมีปริมาณแอนโทไซยานินที่สูงกว่าชุดที่ไม่ได้รับแสงฟลูออเรสเซนต์ รวมทั้งมีปริมาณ mRNA ของ PAL gene และยีนอื่นๆ ในปริมาณที่สูงกว่าชุดที่ไม่ได้รับแสงฟลูออเรสเซนต์

การได้รับแสงอัลตราไวโอเลต สามารถชะลอการสุกได้ในมะม่วงพันธุ์มหาชนก โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของชุดที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเลต และแสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับแสงสีขาว (white light) ลดลงน้อยกว่าชุดที่ไม่ได้รับแสง และได้รับแสงสีขาว ในขณะที่ปริมาณเบตา-แคโรทีนมีค่าเพิ่มขึ้นต่ำกว่าชุดที่ไม่ได้รับแสงและได้รับแสงสีขาว ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินในชุดที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเลต ร่วมกับแสงสีขาว เป็นเวลา 10 วัน มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลองอื่น (นิรมลและคณะ, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

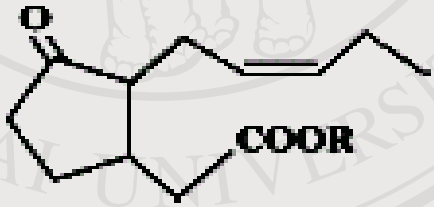
สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulators)

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิ ด เช่น จัสโมเนทมีผลส่งเสริมการสร้างการสะสมแอนโทไซยานินทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาที่ได้รับสารควบคุมการ

เจริญเติบโตของพืชซึ่งแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบกลไกที่แน่นอนในการส่งเสริมการเกิดสีแดงในผลไม้ จากการรวบรวมการรายงานการศึกษาเรื่องจัสโมเนท มีข้อมูลที่น่าสนใจ ดังนี้

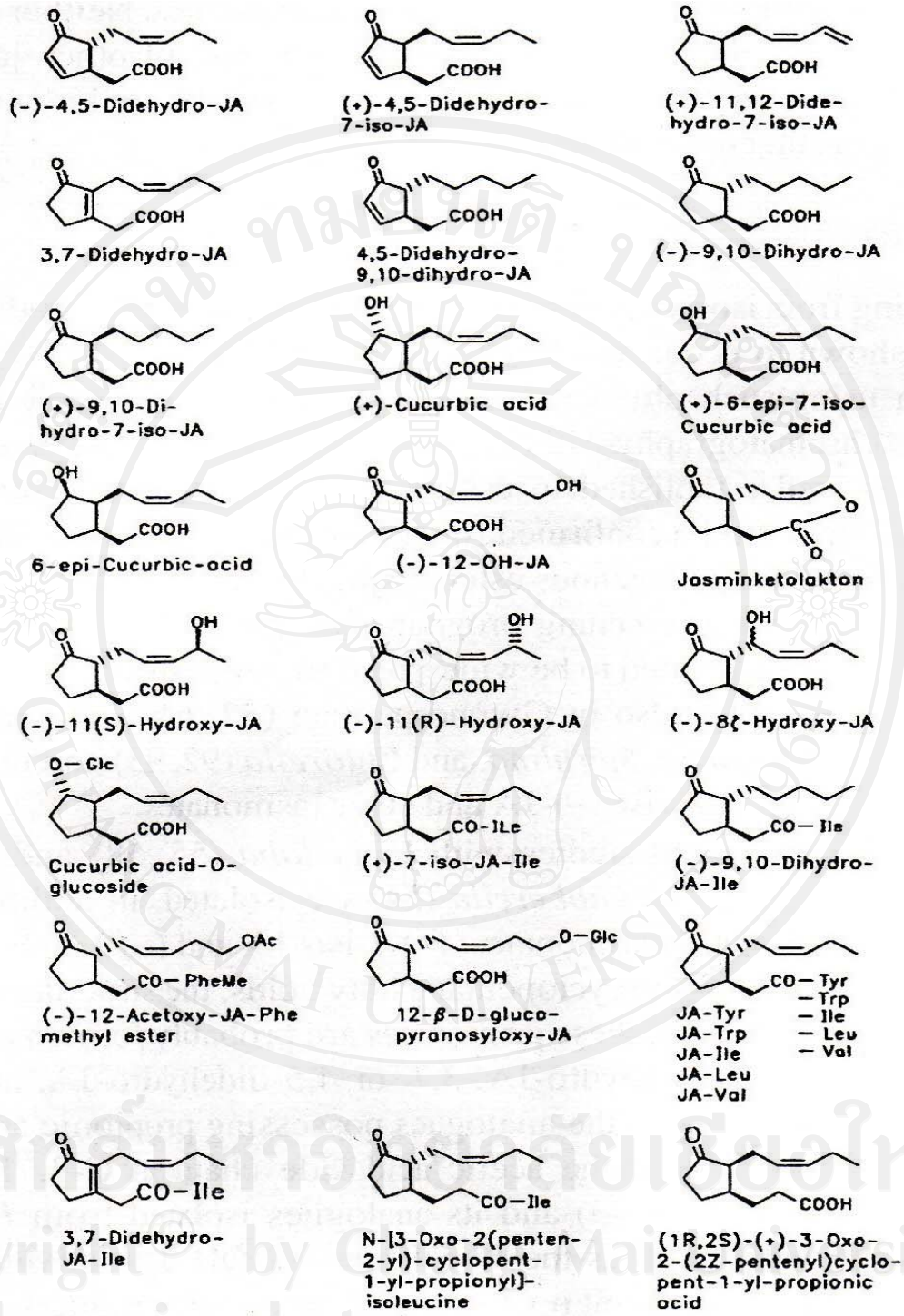
จัสโมเนท (jasmonates)

Demole *et al.* (1962) เป็นผู้ที่ได้แยกสาร (-)-jasmonic acid methyl ester ((-)-JA-ME) จากน้ำมันหอมระเหยของต้น *Jasminum* ปัจจุบันสารกรดจัสโมนิค (jasmonic acid ((-)-JA)) และ stereoisomer ของกรดนี้คือ (+)-7-iso-JA เป็นตัวแทนสำคัญของสารกลุ่ม จัสโมเนท (ภาพ 2.16) กรดจัสโมนิค มีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์เป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโต และเร่งการเสื่อมสภาพในพืช สามารถพบได้ในพืชทั่วไปมีอิทธิพลต่อความหลากหลายทางสรีรวิทยา ปัจจุบันมีการค้นพบจัสโมเนทในพืชกว่า 206 ชนิด ใน 160 สกุล ซึ่งรวมไปถึงเฟิร์น มอส และรา แสดงให้เห็นว่าสารนี้มีทั่วไปในอาณาจักรพืช (Sembder and Parthier, 1993) จากการศึกษาในต้นถั่วปากอ้า (*Vicia faba*) และ เชื้อรา *Botryodiplodia* ทำให้ทราบถึงกิจกรรมทางสรีรวิทยาที่สำคัญของจัสโมเนท จำนวนโครงสร้างมีความสัมพันธ์กับ cyclopentane fatty acids และจัสโมเนทบางตัวมีรูปแบบคล้ายกับการสังเคราะห์กรดจัสโมนิคที่เป็นไปในทางเดียวกัน (ภาพ 2.17) (Miersch *et al*., 1989; Miersch *et al*., 1991)



ภาพ 2.16 สูตรโครงสร้างเคมีของจัสโมเนท : กรดจัสโมเนท (R=H), เมทิลจัสโมเนท (R=CH_3)
ที่มา : Wang *et al*., 2008

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



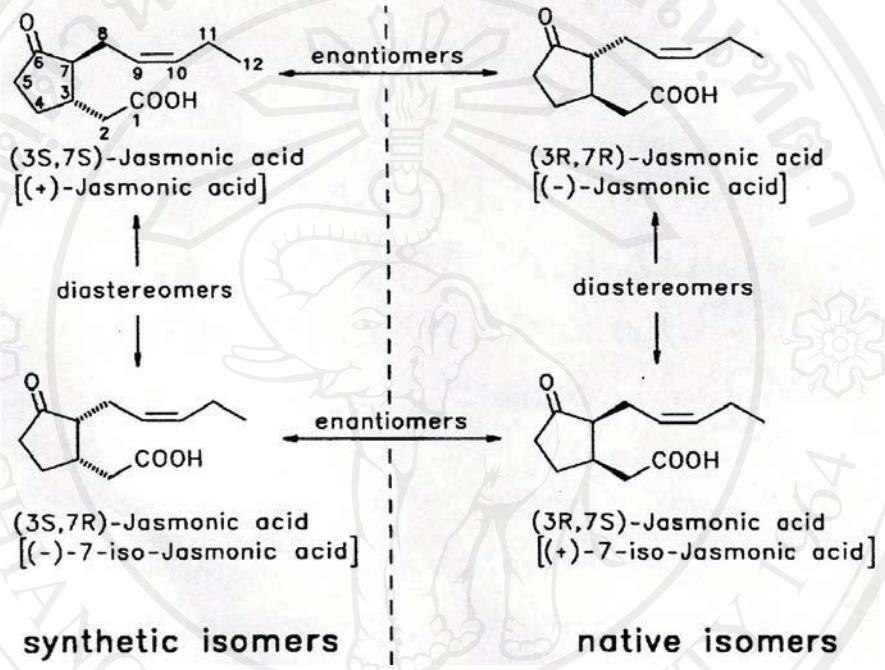
ภาพ 2.17 สูตรโครงสร้างจัสโมเนทที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

ที่มา : Sembder and Parthier, 1993

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การสังเคราะห์จัสโมเนท

โครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของจัสโมเนทมีลักษณะเฉพาะ คือ มีวงแหวนของ cyclopentanone ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการแทนที่ของตำแหน่งคาร์บอน C-3, C-6 และ C-7 โดยศูนย์กลางจะอยู่ที่ C-3, C-7 (ภาพ 2.18)



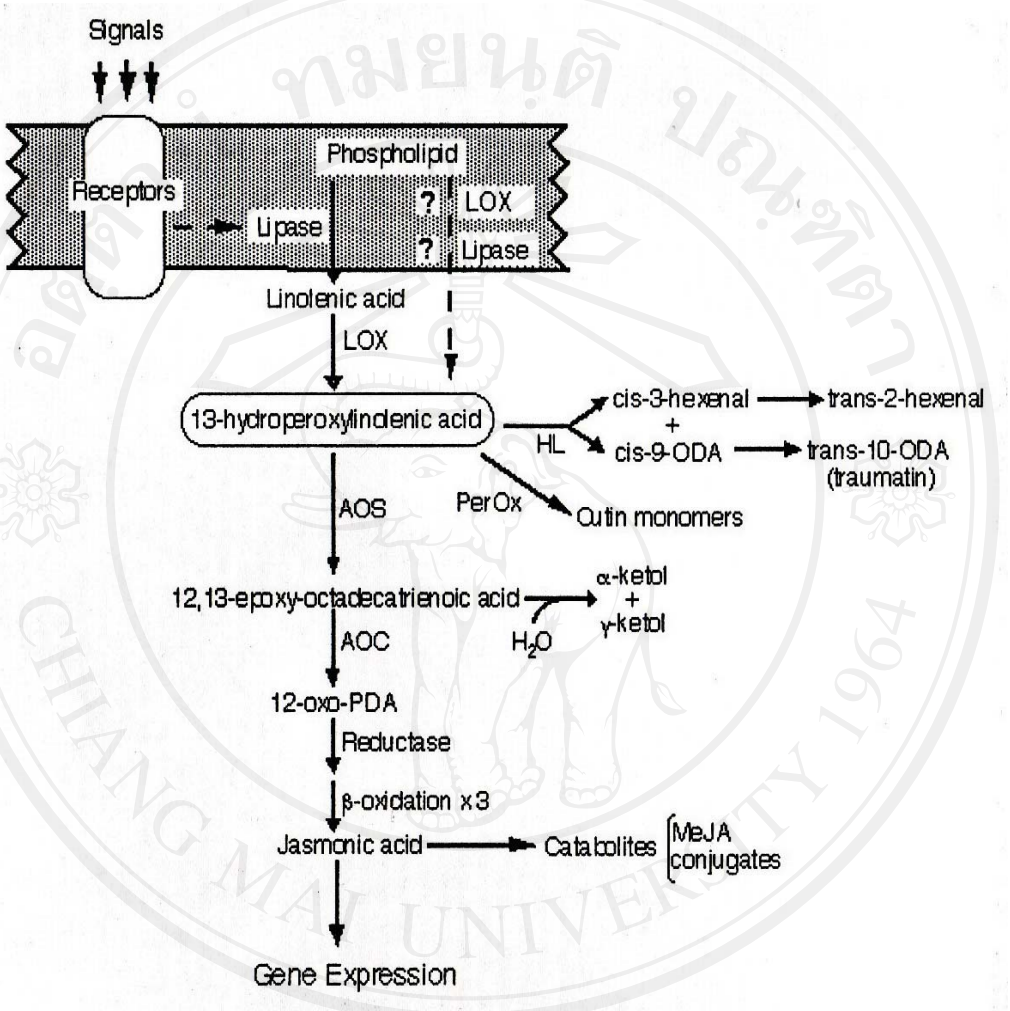
ภาพ 2.18 โครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของจัสโมเนท

ที่มา : Sembder and Parthier, 1993

วิถีการสังเคราะห์กรดจัสโมเนทมีความสัมพันธ์กับตัวรับสัญญาณที่เยื่อหุ้มเซลล์ (membrane receptor) (ภาพ 2.19) เป็นสาเหตุให้เกิดการผลิต 13-hydroperoxylinolenic acid ซึ่งเชื่อกันว่าเกิดจากการปลดปล่อยของ linolenic acid โดยเอนไซม์ phospholipase หรือlipase อย่างใดอย่างหนึ่ง ตามด้วยการเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) จึงได้ 13-hydroperoxylinolenic acid ต่อมาผ่านปฏิกิริยา allene oxide synthase (AOS) ได้ 12,13-epoxy-linolenic acid จากนั้น allene oxide cyclase (AOC) กระตุ้นนำไปสู่การพัฒนา 12-oxo-phytodienoic acid (12-OXO-PDA) และเปลี่ยนรูปร่างรวมทั้งการอิ่มตัว double bond ของ 12-OXO-PDA ตามด้วยปฏิกิริยา reductase และ 3 ขั้นตอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของ β–oxidation จึงได้กรดจัสโมนิคที่มีผลต่อการแสดงออกของยีน และกรดจัสโมเนทนี้สามารถ catabolites เป็นเมทิลจัสโมเนทได้ (Creelman and Mullet, 1997; Sembder and Parthier, 1993)



ภาพ 2.19 กระบวนการสังเคราะห์กรดจัสโมนิค และเมทิลจัสโมเนท

ที่มา : Creelman and Mullet, 1997

การทำงานของจัสโมเนทที่มีผลต่อสรีรวิทยา

การนำจัสโมเนทมาใช้กับพืชซึ่งให้ผลที่แตกต่างกันไป ทั้งการยับยั้ง ส่งเสริมหรือกระตุ้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและสรีรวิทยาของพืช (ตาราง 2.1) ซึ่งมีลักษณะบางส่วนคล้ายกับกรดแอบไซซิก และเอทิลีนการทดลองส่วนมากนั้นใช้กรดจัสโมนิคหรือเมทิลจัสโมเนทซึ่งหาได้ง่าย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างในเรื่องการดูดซึม และความแตกต่างชนิดของพืชที่นำมาใช้ ตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธรรมชาติกรดจัสโมนิคทำงานได้ดีเช่นเดียวกับเมทิลจัสโมเนทที่มีประสิทธิภาพไม่ต่างกัน (Sembder and Parthier, 1993; Yamane *et al*., 1981)

เมื่อให้จัสโมเนทจากภายนอกกับพืช จะส่งเสริมการเสื่อมสภาพของใบโดยจะมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยบทบาทของจัสโมเนทต่อการเสื่อมสภาพของใบนั้นเป็นไปในทางอ้อม คือ จัสโมเนทจะมีฤทธิ์ในทางตรงกันข้ามกับไซโตไคนิน โดยจะมีการกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ rubisco นอกจากนี้ยังพบว่า เมทิลจัสโมเนทสามารถกระตุ้น secondary metabolites เช่น ทำให้มีการสะสมแอนโทไซยานินในต้นอ่อนถั่วเหลือง (Franceschi and Grimes, 1991) รากต้นพีช (Saniewsk *et al*., 1998) แอบเปิล (Kondo *et al*., 2001) สตรอเบอร์รี่ (Pérez *et al*., 1997) และเพิ่มเบตา-แคโรทีนในมะเขือเทศ (Saniewski and Czapski, 1983) และเมทิลจัสโมเนทยังสามารถกระตุ้นให้เกิดชีวสังเคราะห์ของเอทิลีนได้โดยการเพิ่มแอกทิวิตีของ ACC synthase หรือ ACC oxidase แต่การออกฤทธิ์ของเมทิลจัสโมเนทนี้จะขึ้นกับชนิดพืช และระยะการพัฒนาของพืช (Saniewski *et al.*, 1987)

การชักนำโปรตีนจำเพาะและ mRNA โดยจัสโมเนท

จัสโมเนทสามารถกระตุ้นโปรตีนชนิดต่างๆ ได้ในพืชหลายชนิด (ตาราง 2.2) อย่างไรก็ตาม ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของโปรตีนเหล่านี้ยังมีการศึกษากันน้อย แต่เป็นที่ทราบกันแล้วว่ามีโปรตีนสองประเภท ได้แก่ โปรตีนที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร (storage protein) และโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันตัวของพืชจากโรค จากสัตว์กินพืช และความเครียดอันเนื่องมาจากสารเคมีและทางกายภาพ นอกจากนี้ยังเป็นที่ทราบกันว่าจัสโมเนทมีอิทธิพลในระดับโมเลกุล ในด้านการแสดงออกของยีนในพืชหลายชนิด และในกระบวนการต่างๆ อีกหลายกระบวนการ (Sembder and Parthier, 1993) เมทิลจัสโมเนทจากภายนอกส่งผลถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นกับพืช เช่น ชักนำการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในการงอกของเมล็ดพืชที่ต้องการแสง การสะสมผลิตภัณฑ์สุดท้าย (end product) กิจกรรมของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น และ mRNA ของเอนไซม์ PAL ทั้งนี้เป็นเอนไซม์ที่เป็นกุญแจสำคัญในการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ซึ่งสังเกตได้ในเซลล์แขวนลอยของถั่วเหลือง (Franceschi and Grimes, 1991; Gundlach, 1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ผลของจัสโมเนทต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการพัฒนาของพืชบางประการ

กระบวนการทางสรีรวิทยา	ผลของจัสโมเนท
การเจริญเติบโตด้านความยาวของต้นกล้า	ยับยั้ง
การเจริญเติบโตของราก	ยับยั้ง
การเจริญเติบโตของเชื้อราไมคลอไรซ่า	ยับยั้ง
การยืดการตัดต้นอ้อย	กระตุ้น
การเจริญเติบโตของเซลล์และเนื้อเยื่อ/ความแตกต่าง	ยับยั้ง/กระตุ้น
การเจริญเป็นเอ็มบริโอ (embryogenesis)	ยับยั้ง
การเกิดรากพิเศษ (adventitious roots)	กระตุ้น
การงอกของเมล็ด	ยับยั้ง
การหยุดการพักตัวของเมล็ด	ส่งเสริม
การงอกของละอองเกสร	กระตุ้น/ยับยั้ง
การงอกของหน่อ	กระตุ้น
การพัฒนาของตาดอก	ยับยั้ง
การสุกของผล	ส่งเสริม
การชราของเนื้อหุ้มเมล็ด	ส่งเสริม
การชราของใบ	ส่งเสริม
การหลุดร่วงของใบ	ส่งเสริม
การพัฒนาของหัว	ชักนำ
การพันของมือจับ (tendril coiling)	ชักนำ
การปิดปากใบ	ส่งเสริม
การเปิดออกของโคนก้านใบ (pulvinule)	ยับยั้ง
การขัดขวาง microtubuli	ชักนำ
การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์	ยับยั้ง
การสร้างคลอโรฟิลล์	ยับยั้ง
การเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์	ส่งเสริม
การสังเคราะห์ทางชีววิทยาของ RuBPCase	ยับยั้ง
กิจกรรมการสังเคราะห์แสง	ยับยั้ง
อัตราการหายใจ	ส่งเสริม
การสังเคราะห์เอธิลีน	กระตุ้น

ที่มา : Sembder and Parthier, 1993

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 การชักนำการสังเคราะห์โปรตีนบางชนิดโดยการใช้กรดจัสโมนิค และเมทิลจัสโมเนท

โปรตีน	พืช	ตัวชักนำอื่น
Proteinase inhibitors I and II	มะเขือเทศ (ใบ)	ABA, การ เกิดบาดแผล
Proteinase inhibitor II	มันฝรั่ง (ใบ)	ABA, น้ำตาลซูโครส
Trypsin inhibitor	พืชมีฝัก (ใบ)	การเกิดบาดแผล
Lipoxygenase	ถั่วเหลือง ,ถั่ว (ต้น)	การเกิดบาดแผล
Phenylalanine ammonia lyase	ถั่วเหลือง (เซลล์เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ)	oligosaccharides
Chalcone synthase	ถั่วเหลือง (เซลล์เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ)	การเกิดบาดแผล
Vegetative	ถั่วเหลือง (ใบ)	การเกิดบาดแผล
Storage proteins	ต้นกล้า, (เซลล์เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ)	การขาดน้ำ
Napin, cruciferin	rape seed (embryos)	การเกิดบาดแผล

ที่มา : Sembder and Parthier, 1993

จากรายงานการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มจัสโมเนทกับพืชชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลาที่ได้รับสารที่แตกต่างกันไป ที่มีผลต่อการเกิดสีแดง และคุณภาพของผลผลิตทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยวพอสรุปได้ดังนี้

ผลของสารในกลุ่มจัสโมเนทต่อการสังเคราะห์สารสีในพืช

Kramell *et al*. (1997) พบว่ากรดจัสโมนิค (jasmonic acid) มีผลทั้งในทางยับยั้งและส่งเสริมการสะสมแอนโทไซยานินรวมทั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด เช่น เอนไซม์ PAL เช่นเดียวกับกรดแอบไซซิค และเอทิลีน กรดจัสโมนิคมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตด้านความยาวของลำต้น ความยาวราก การเจริญของเนื้อเยื่อ การเกิดเอ็มบริโอ การงอกของเมล็ด การงอกของละอองเรณู การสร้างตาดอก การสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน และคลอโรฟิลล์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลในทางส่งเสริมหรือชักนำการสุกแก่ของผลไม้ เร่งการเสื่อมสภาพ การหลุดร่วง การเปิดปิดปากใบ การหายใจ เร่งการสร้างเอทิลีน เช่นเดียวกันกับ ABA รวมทั้งการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และยังพบว่ากรดจัสโมนิคมีผลส่งเสริมการแสดงออกของยีน และการเปลี่ยนโครงรูปของเอนไซม์หลายตัวที่อยู่ในขั้นตอนของการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเมื่อใช้ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Pérez *et al*. (1997) ทำการทดลองโดยเก็บผลสตรอเบอร์รีใน ระยะยังไม่แก่ (green immature) นำมาทำการตัดแต่งส่วนก้านผลออก และนำไปเพาะในสภาพ *in vitro* ที่มีสารละลายซูโครส และเมทิลจัสโมเนท 50 μM พบว่ามีผลกระทบต่อการพัฒนาและการสุกของผล อัตราการหายใจและเอทิลีนเพิ่มขึ้น และมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการพัฒนาสีผิวสังเกตได้โดยเกิดการกระตุ้นการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี

Saniewski *et al*. (1997) พบว่าเมทิลจัสโมเนทสามารถกระตุ้นการสะสมแอนโทไซยานินในลำต้นและใบในหัวพันธุ์ดอกทิวลิปที่ปลูกได้ โดยให้เมทิลจัสโมเนทกับหัวพันธุ์ทิวลิปที่เก็บในที่เย็นและอุณหภูมิปกติ ผลปรากฏว่าการรมเมทิลจัสโมเนท 200 μl/l แก่หัวพันธุ์ทิวลิปที่เก็บในที่เย็นที่ปลูก จะให้ระดับการสะสมแอนโทไซยานินสูงสุดในใบ และสามารถกระตุ้นการสะสมแอนโทไซยานินในรากของต้นพืชได้ (Saniewski *et al*., 1998)

Fan *et al*. (1998) ทำการทดลองผลกระทบของการให้เมทิลจัสโมเนทกับกรดจัสโมนิคเปรียบเทียบกับผลกระทบของเอทีฟอนต่อสีผิวและคุณภาพของแอบเปิลพันธุ์ Golden Delicious และพันธุ์ Fuji ภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยทำการจุ่มผลลงในสารละลายเมทิลจัสโมเนท กรดจัสโมนิค และ เอทีฟอน พบว่าเมทิลจัสโมเนทส่งเสริมการเปลี่ยนสีผิวอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ากรดจัสโมนิค และกรดจัสโมนิค ที่ 1 และ 10 $mmol \cdot l^{-1}$ จะส่งเสริมการเปลี่ยนสีผิวอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเอทีฟอนที่ 0.35 และ 3.5 $mmol \cdot l^{-1}$ และผลทดลองสรุปว่าการใช้เมทิลจัสโมเนทและกรดจัสโมนิคจะส่งเสริมการเกิดสีผิวที่ผล และสูญเสียคุณลักษณะคุณภาพอื่นๆ ที่ปรากฏน้อยที่สุด

การใช้เมทิลจัสโมเนทที่ 10^{-4} M สามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) และเพิ่มการพัฒนาของสีในมะม่วงพันธุ์ Kent ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพมะม่วง ส่วนการใช้เมทิลจัสโมเนทที่ 10^{-5} M สามารถเพิ่มการพัฒนาสีเหลืองและแดงของผลมะม่วงได้ โดยมีการสุกปกติ มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำได้สูงสุด และยังสามารถรักษาระดับน้ำตาล และกรดอินทรีย์ไว้ในระดับ สูงกว่าชุดการทดลองอื่น โดยเก็บรักษาที่ 5 ˚C และย้ายไปเก็บไว้ที่ 20 ˚C เป็นเวลา 7 วัน เช่นกัน (Gonzalez–Aguilar *et al*., 2001)

Wang *et al*. (2003) การพ่นเมทิลจัสโมเนทก่อนการเก็บเกี่ยวแก่ผลราสเบอร์รี และนำมาวิเคราะห์คุณภาพพบว่า เมทิลจัสโมเนทมีความเข้มข้น 0.1 mM สามารถเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรวมสูงขึ้น และมีปริมารกรดที่ไทเทรตได้ต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และยังทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิคเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย

Rudell *et al*. (2005) พบว่าการให้เมทิลจัสโมเนทก่อนการเก็บเกี่ยวมีผลกระทบต่อการพัฒนาสีและลักษณะอื่นๆ ของคุณภาพผลแอบเปิลพันธุ์ Fuji โดยทำการพ่นเมทิลจัสโมเนทก่อนการเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกี่ยวแอบเปิล 48 วันหลังดอกบาน (ต้นฤดู) และ 119 วันหลังดอกบาน (ปลายฤดู) เก็บเกี่ยวผลที่ 172 วันหลังดอกบาน แล้วนำมาวิเคราะห์พบว่า เมทิลจัสโมเนทสามารถกระตุ้นการเพิ่มสีแดงที่เปลือกอย่างมีนัยสำคัญ และการพ่นเมทิลจัสโมเนทต้นฤดูทำให้ขนาดผลเล็กลง ผลนิ่มช้าลง ส่วนผลที่พ่นเมทิลจัสโมเนทปลายฤดูผลจะนิ่มช้าลง และเกิดการแตกของผลเพิ่มขึ้น

ผลของจัสโมเนทต่อการพัฒนาสีของผลไม้มีความแตกต่างกันระหว่างผลไม้ประเภท climacteric fruit เช่น แอบเปิล และ nonclimacteric fruit เช่น เชอร์รี โดยความเข้มข้นของจัสโมเนทเพิ่มขึ้นภายในเนื้อผลแอบเปิล 2 ช่วงคือ ในช่วงการเจริญเติบโตระยะแรก และในระหว่างที่ผลมีการเจริญเติบโตเต็มที่ แต่ในผลเชอร์รี จัสโมเนทภายในเนื้อผลมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงของการเจริญเติบโตระยะแรกเท่านั้น และจะลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว ดังนั้นการใช้จัสโมเนท และจัสโมเนทร่วมกับ aminoethoxyvinylglycine (AVG) จะกระตุ้นการสะสมแอนโทไซยานินในผลแอบเปิลได้ดีกว่าในผลเชอร์รี จัสโมเนทอาจจะมีความสัมพันธ์ต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในผลแอบเปิล การแสดงออกของยีน UDP-glucose:flavonoid 3-o-glucosyltransferase (UFGluT) ซึ่งเป็นยีนที่สังเคราะห์แอนโทไซยานินทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าชุดควบคุม แต่ในการใช้กับผลเชอร์รี พบว่าจัสโมเนทไม่มีอิทธิพลต่อการสะสมแอนโทไซยานินในเชอร์รี (Kondo, 2006)

Belhadj *et al*. (2008) ทำการให้เมทิลจัสโมเนทร่วมกับซูโครสแก่ผลองุ่นพบว่าได้ผลดีในการกระตุ้นเอนไซม์ PAL, chalcone synthase, stilbene synthase, UDP-glucose:flavonoid 3-o-glucosyltransferase และเป็นตัวนำการสะสมแอนโทไซยานินในเซลล์

ผลของการใช้สารในกลุ่มจัสโมเนทร่วมกับแสงต่อการสังเคราะห์สารสีในพืช

Rudell *et al.* (2002) ศึกษาผลของการใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์อัลตาไวโอเลตร่วมกับเมทิลจัสโมเนทแก่ผลแอบเปิลพันธุ์ Fuji หลังการเก็บเกี่ยว พบว่าผลแอบเปิลมีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นในการทดลองที่ใช้แสงร่วมกับเมทิลจัสโมเนท โดยสารประกอบ chlorogenic acid, cyaniding, quercetin, และ phloretin glycosides เพิ่มขึ้นในการทดลองที่เพิ่มความเข้มข้นเมทิลจัสโมเนทร่วมกับการใช้แสง ขณะที่การใช้แสงอย่างเดียวก็ช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์สารประกอบเหล่านี้ด้วยเช่นกัน ส่วนสารประกอบ catechin, (-)epicatechin และ quercetin ไม่เพิ่มขึ้นในการทดลองที่ใช้แสงหรือเมทิลจัสโมเนทอ ย่างใดอย่างหนึ่งการใช้แสงร่วมกับเมทิลจัสโมเนทเพิ่มการสังเคราะห์เบตา -แคโรทีน และคลอโรฟิลล์ บี แต่ไม่เพิ่มการสังเคราะห์แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) และคลอโรฟิลล์ เอ อัตราส่วนคลอโรฟิลล์ เอ ต่อคลอโรฟิลล์ บี ลดลงในการทดลองที่เพิ่มความเข้มข้นเมทิลจัสโมเนทร่วมกับการใช้แสง และสรุปว่าเมทิลจัสโมเนทส่งเสริมการพัฒนาสีเปลือกของผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Mattheis *et al*. (2004) ศึกษาบทบาทของเอทิลีนและเมทิลจัสโมเนทในการกระตุ้นการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในผลแอบเปิลพันธุ์ Fuji ในระยะยังไม่แก่ (immature) ภายใต้แสง UV-B ในการทดลองที่แช่ผลในเมทิลจัสโมเนทอย่างเดียวพบว่ามีการสะสมแอนโทไซยานินและการสังเคราะห์เบตา-แคโรทีนเพิ่มขึ้น และการสะสมแอนโทไซยานินถูกกระตุ้นส่งเสริมในการทดลองที่แช่เอ ธิลีนร่วมกับเมทิลจัสโมเนท ส่วนการทดลองที่ใช้เอ ธิลีนและ 1-methylcyclopropene (1-MCP) อย่างเดียวและเอทิลีนร่วมกับ 1-MCP มีผลกระทบเล็กน้อยในการสะสมแอนโทไซยานิน

การเพิ่มสารสีในเปลือกแอบเปิลพันธุ์ Fuji โดยการให้เอทิลีนและเมทิลจัสโมเนทแล้วนำไปฉายแสงอัลตาไวโอเลตร่วมกับแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ผลปรากฏว่า การที่ใช้เมทิลจัสโมเนทอย่างเดียวสามารถเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานินมากขึ้น ส่วนการใช้เอทิลีนหรือ 1-MCP อย่างเดียว และเอทิลีนร่วมกับ 1- MCP ไม่มีผลกระทบต่อการสะสมแอนโทไซยานิน (Rudell and Mattheis, 2008)

ผลของสารในกลุ่มจัสโมเนทต่อคุณภาพของผลผลิต

การรมผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkin ด้วยเมทิลจัสโมเนท ความเข้มข้น 10^{-4} M เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ที่ 25 ˚C แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 7 ˚C เป็นเวลา 21 วัน และหลังจากนั้นนำไปไว้ที่ อุณหภูมิ 20 ˚C เป็นเวลา 5 วัน พบว่าสามารถทนทานต่ ออาการสะท้านหนาวได้ และลดเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอิออน (ion leakage) ของเนื้อเยื่อมะม่วงได้ คุณภาพโด ยรวมของผลมะม่วงที่รมเมทิลจัสโมเนท ดีกว่าชุดควบคุมโดยเมทิลจัสโมเนทเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้แต่ไม่มีผลต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เมทิลจัสโมเนทไม่มีผลต่ออัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำ การอ่อนนุ่มของผล และสรุปว่าประสิทธิภาพของเมทิลจัสโมเนท ช่วยลดอาการสะท้านหนาวและการเสื่อมสภาพของผลมะม่วงซึ่งสัมพันธ์ต่อความทดทานที่เป็นผลมาจากอุณหภูมิต่ำ (González–Aguilar *et al*., 2000)

Gonzalez–Aguilar *et al*. (2004) พบว่าการใช้เมทิลจัสโมเนทสามารถลดอาการสะท้านหนาว เพิ่มปริมาณน้ำตาล เอนไซม์ PAL และเอนไซม์ LOX ได้ในผลฝรั่ง (*Psidium guajava* L.) และ Zhang *et al*. (2006) พบว่าการใช้เมทิลจัสโมเนท 1 µmol/l กับสตรอเบอร์รีที่เก็บรักษาไว้ที่ 5 ˚C สามารถยับยั้งการเน่าเสียของผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจากโรคพืชได้และสามารถเพิ่มเอนไซม์ PAL และปริมาณสารประกอบฟีนอลิคมากกว่าในผลชุดควบคุม

การพ่นสารเมทิลจัสโมเนทที่ ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.1, 0.25 และ 0.5 mM ให้แก่ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ก่อนการเก็บเกี่ยวแล้วตรวจหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิค พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่พ่นสารที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.25 และ 0.5 mM

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และชุดการทดลองที่ใช้สารความเข้มข้น 0.5 mM มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคสูงสุดเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากเมทิลจัสโมเนทไปชักนำแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL ทำให้ phenylpropanoid pathway ถูกกระตุ้นจึงทำให้สารประกอบฟีนอลิคมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนปริมาณคาโรทีนอยด์นั้นพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Kim *et al*., 2007)

Khan and Singh (2007) นำผลพลัมในระยะการค้ามารมด้วยสารเมทิลจัสโมเนทความเข้มข้น 0, 10^{-3}, 10^{-5} M ที่อุณหภูมิ 20 ˚C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าการรมผลด้วยสารเมทิลจัสโมเนทที่ 10^{-3} และ 10^{-5} M สามารถเร่งการสุก ในผลพลัมทั้ง 3 พันธุ์ได้แก่ Black Amber, Amber Jewel และ Angelino รวมทั้งทำให้มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ การสังเคราะห์เอทิลีนและปริมาณเอนไซม์ 1-aminocyclopropane-1-carboxlic acid synthase (ACS), 1-aminocyclopropane-1-carboxlic acid oxidase (ACO) และปริมาณสาร 1-aminocyclopropane-1-carboxlic acid (ACC) ระหว่างผลสุก และสามารถปรับปรุงสีผลของพลัมพันธุ์ Amber Jewel และ Angelino ให้ดีขึ้นในขณะ ที่ไม่มีผลในพันธุ์ Black Amber

การให้เมทิลจัสโมเนทที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM แก่ผลแบลคเบอร์รีทั้ง 3 พันธุ์ (Chester Thornless, Hull Thornless และ Triple Crown) ก่อนการเก็บเกี่ยวทำให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำได้สูงขึ้น และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ต่ำกว่าชุดควบคุม โดยพันธุ์ Hull Thornless มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำได้ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคสูงสุด รวมทั้งปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ต่ำสุด Wang *et al.* (2008)

Jin *et al.* (2008) นำผลพีชระยะ firm-mature มารมด้วยสารเมทิลจัสโมเนท 1μmol/l ที่ 38 ˚C นาน 12 ชั่วโมง และเมทิลจัสโมเนทร่วมกับลมร้อนที่ 38 ˚C นาน 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บที่ 0 ˚C นาน 5 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์หาเอนไซม์ และอีกส่วนเก็บไว้ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ และอาการสะท้านหนาวผลปรากฏ ว่า การรมด้วยสารเมทิลจัสโมเนทร่วมกับลมร้อนช่วยให้มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL, superoxide dismutase (SOD) และ polygalacturonase (PG) รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิคสูงขึ้นส่วนกิจกรรมเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD) และอาการสะท้านหนาว ต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ขณะที่ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำได้มีค่าไม่แตกต่างกัน

Nilprapruck *et al.* (2008) นำผลสับปะรด (*Ananas comosus* L. cv. Pattavia) มาจุ่มในสารเมทิลจัสโมเนทที่ความเข้มข้น 0, 10^{-3}, 10^{-4} และ 10^{-5} M แล้วเก็บรักษาไว้ที่ 10 ˚C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมทิลจัสโมเนทช่วยลดอาการสะท้านหนาว และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณน้ำตาลรวม และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ มีผลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาสีแดงของเปลือกผล เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพและสีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์มหาชนก โดยการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มจัสโมเนทหรือแสงอาจช่วยแก้ปัญหาการเกิดสีแดงที่เปลือกผลนี้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved