บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

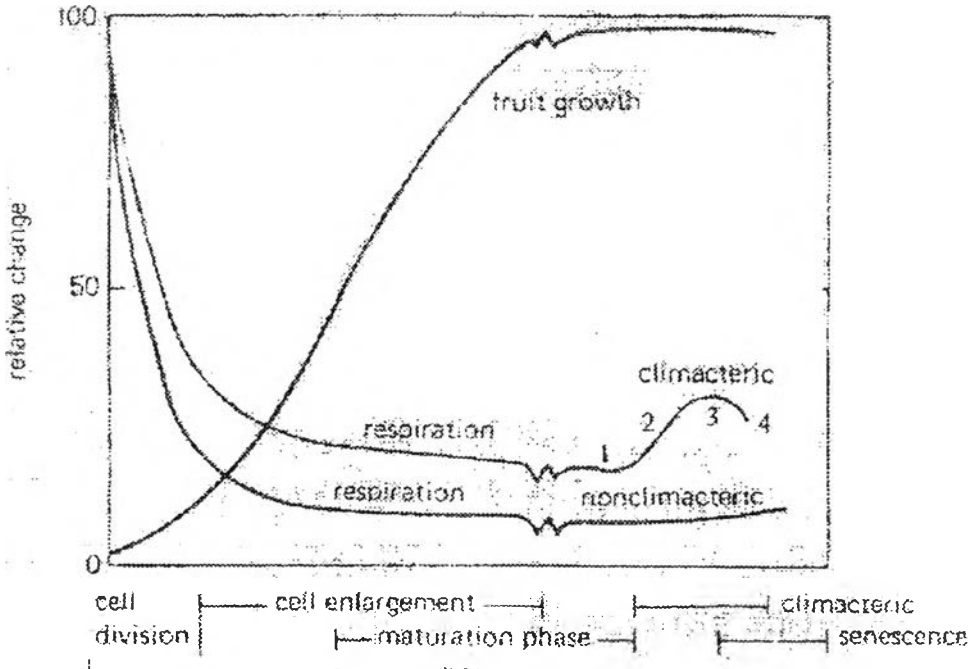
มะม่วงสามปี

มะม่วงสามปีเป็นมะม่วงพันธุ์พื้นเมืองทางภาคเหนือของประเทศไทย เป็นมะม่วงที่ขึ้นอยู่ทั่วไปตามไร่นา เนื่องจากเป็นมะม่วงพันธุ์ที่ขึ้นง่าย เจริญเติบโตเร็ว ทนต่อสภาพธรรมชาติได้ดี ศัตรูตามธรรมชาติมีน้อย ทำให้การลงทุนในการปลูกต่ำ และเมื่อปลูกด้วยเมล็ด ต้นมีอายุประมาณ 3 ปีก็ให้ผลผลิต ดังนั้นจึงมีผู้นิยมปลูกมะม่วงชนิดนี้มากขึ้น ลักษณะทั่วไปผลมีขนาดค่อนข้างเล็ก รูปร่างกลมรีคล้ายมะม่วงอกร่องเขียวแต่มีขนาดเล็กกว่า การติดผลค่อนข้างดก เนื้อผลมีเสี้ยนมาก ผลดิบมีรสเปรี้ยวจัด ผลสุกจะมีผิวเปลือกสีเหลืองคล้ายอกร่องทอง รสหวาน กลิ่นหอม และมีปริมาณน้ำในผลมากเหมาะแก่การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงพร้อมดื่ม(มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด และคณะ,2541) มะม่วงสามปีเมื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เนื้อมะม่วงบรรจุกระป๋อง น้ำมะม่วงพร้อมดื่ม นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีทั้งในด้านสีและกลิ่นรสเป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศ (ประพัฒน์ สิทธิสังข์,2521) มะม่วงสามปีมีองค์ประกอบทางเคมีทั่วไป ดังนี้ มีน้ำประมาณ 85% เส้นใย(fiber)ประมาณ 1% คาร์โบไฮเดรต(carbohydrate)ประมาณ 15% โปรตีน(protein)ประมาณ 1% ไขมัน(lipid)ประมาณ 0.1% และเถ้า(ash)ประมาณ 0.5% (บุหลัน พิทักษ์พล, 2523)

อายุการเก็บเกี่ยว

ความอ่อน-แก่ของผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยว มีผลโดยตรงต่อคุณภาพในการรับประทานหรือรสชาติของมะม่วง มะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ผลยังไม่แก่จัด เมื่อสุกจะทำให้มะม่วงมีรสเปรี้ยว สีผิวเปลือกและเนื้อไม่สวย กลิ่นไม่หอมและถ้าเก็บเกี่ยวมะม่วงที่ผลแก่จัดมากเกินไป เมื่อนำมาบ่มให้สุกจะทำให้มะม่วงสุกที่ได้มีคุณภาพไม่ดี เนื้อนิ่มมากและบริเวณเนื้อใกล้เมล็ดจะช้ำ (jelly seed) ดังนั้นควรเก็บเกี่ยวมะม่วงในระยะที่ผลแก่เต็มที่ หรือระยะที่ผลเจริญเต็มที่แล้ว (maturity) เมื่อผลสุกจะมีรสหวาน สีผิวเปลือกและเนื้อจะสวย มีกลิ่นหอม (Leveringtion และ Mayer, 1960) อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลมะม่วงแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น แหล่งปลูก ฤดูกาล การตัดแต่ง การให้ปุ๋ย เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542)

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท Climacteric นั่นคือ มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ผลไม้เกิดการสุกได้ ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ (1) pre-climacteric (2) climacteric rise (3) climacteric peak และ (4) post-climacteric ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 : อัตราการหายใจของผลไม้ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ

(1- pre climacteric, 2- climacteric rise, 3-climacteric peak, 4-post climacteric)

ที่มา : Salisbury และ Ross, 1985.

จากรูปที่ 2.1 ในระยะ cell division และ cell enlargement ผลไม้จะมีการเจริญเติบโตขยายขนาดผล สะสมสารอาหารต่างๆ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะ maturation phase อัตราการเจริญเติบโตจะคงที่ไม่มีการเจริญต่อไปอีก ซึ่งเป็นระยะที่ผลมีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว และเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นผลไม้จะเข้าสู่ระยะ climacteric คือ มีอัตราการหายใจ (respiration rate)เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนทางชีวเคมีของผล เกิดกระบวนการสุกขึ้นและจากนั้นผลจะเข้าสู่ระยะ senescence เกิดการเสื่อมสลาย และเน่าเสียต่อไป (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993)

การพิจารณาว่าผลไม้ได้เจริญมาถึงระยะหรือวัยที่จะเก็บเกี่ยวได้หรือยัง เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะในระหว่างการเจริญเติบโตถึงแม้ว่าจะมีการบำรุงรักษาดีเพียงใด หากเก็บเกี่ยวไม่ถูกระยะแล้ว คุณภาพของผลผลิตก็จะไม่ดี การพิจารณาต้องมีหลักเกณฑ์ ที่เรียกกันว่า ดัชนีความแก่ (maturity index) หรือ ดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvesting index) หรือ เกณฑ์การเก็บเกี่ยว เกณฑ์การเก็บเกี่ยวที่ดีควรเป็นเกณฑ์ที่สามารถตรวจสอบหรือทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ไม่ทำลายผลผลิต ใช้

อุปกรณ์ไม่ยุ่งยาก และควรเป็นเกณฑ์ที่ใช้การวัด เช่น การวัดความถ่วงจำเพาะ การวัดปริมาณกรด มากกว่าการใช้เกณฑ์ที่เป็นการประเมิน เช่นการเคาะฟังเสียง การพิจารณาลักษณะผล เพราะจะเกิดความผิดพลาดและความลำเอียงได้ง่าย เกณฑ์การเก็บเกี่ยวที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีมากมายหลายวิธี แต่ไม่มีวิธีใดที่ให้ผลที่ถูกต้องแน่นอน โดยทั่วไปมักนิยมใช้เกณฑ์หลายอย่างประกอบการตัดสินใจ ซึ่งจะทำให้เก็บเกี่ยวได้ถูกต้องตามความบริบูรณ์ของผลผลิตมากขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) เกณฑ์การเก็บเกี่ยวมะม่วงที่นิยมใช้ ได้แก่

1) การนับอายุผล คือการนับเวลาจากจุดใดจุดหนึ่งของการเจริญเติบโต สำหรับมะม่วงพันธุ์สามปี พบว่า มีอายุการเก็บเกี่ยวผลประมาณ 100-110 วันนับจากวันที่ดอกบานเต็มที่ (บุหลัน พิทักษ์พล, 2523)

2) การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น สี รูปร่าง ขนาด ความแน่นเนื้อ ความถ่วงจำเพาะ(specific gravity) เป็นต้น

3) การวัดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เช่น ความหวาน ปริมาณกรด ปริมาณแป้ง สารประกอบที่ให้สี(pigment) เป็นต้น

การวัดค่าความถ่วงจำเพาะ นับเป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลดีวิธีหนึ่งที่ใช้หาระยะเวลาที่เหมาะสมของการเก็บเกี่ยวมะม่วง (เปรมปรี ณ สงขลา ,2537) การเจริญเติบโตของผลไม้เริ่มต้นจากการขยายขนาดของเซลล์ จนถึงระยะหนึ่งจึงเริ่มมีการสะสมสารอาหารในรูปต่างๆ เช่นแป้ง และน้ำตาล ซึ่งจะถูกลำเลียงมาสะสมในผลมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ผลมีน้ำหนักแห้งสูงขึ้น ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะจะมากขึ้นด้วย และสามารถใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวได้ โดยทั่วไปมะม่วงที่แก่เต็มที่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยว มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.000 นั่นคือผลมะม่วงจะจมน้ำ และมะม่วงผลแก่เต็มที่จะมีปริมาณแป้งสะสมมากที่สุด มี TSS 7.0-8.0°brix pH 3.0-4.0 และ %TA (%titration acidity) 2.6-2.8 (ณรงค์ นิยมวิทย์ ,2529)

การบ่มมะม่วง

คือการทำให้ผลมะม่วงสุกเร็วและสุกพร้อมกัน การบ่มจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและมะม่วงจะสุกสม่ำเสมอทั่วทั้งผล วิธีการบ่มให้สุกโดยทั่วไป มี 2 วิธี ได้แก่

1) วิธีธรรมชาติ คือการทำให้สุกโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีจากการเร่ง ของก๊าซเอทิลีน (ethylene) ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่วิธีนี้การสุกจะเกิดไม่สม่ำเสมอ สุกไม่พร้อมกัน และใช้เวลาในการบ่มให้สุกนาน

2) วิธีการใช้สารบ่ม เร่งการสุก คือการใช้สารเร่งการสุกบ่มผลไม้ เช่น การใช้ก๊าซเอทิลีน การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ (calcium carbide ; CaC_2) เป็นต้น วิธีนี้จะเร่งให้เกิดการสุกสม่ำเสมอ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุกอย่างรวดเร็วพร้อมๆกัน โดยมีผลเร่งให้ผลไม้เข้าสู่ระยะ climacteric เร็วขึ้น แต่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกยังเป็นเช่นเดิม

การบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ แคลเซียมคาร์ไบด์จะทำปฏิกริยากับไอน้ำในบรรยากาศและไอน้ำที่มะม่วงคายออกมา เกิดก๊าซอะเซทิลีน(acetylene) ซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับก๊าซเอทิลีน เร่งทำให้ผลมะม่วงสุกโดยธรรมชาติ (Sy และ Wainwright,1990 ; Dara ,1988)

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2$$

$$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$$

Chandraprema (1995) ได้ศึกษาการบ่มมะม่วงแก้วด้วย CaC_2:มะม่วง ในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 4, 9 และ 12 g/ 4 kg นาน 7 วัน วัดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการบ่มให้สุก วัตถุดิบมะม่วงแก้วผลแก่ที่ใช้ในการบ่ม จะมีปริมาณน้ำเฉลี่ย 86.51% TSS เฉลี่ย 8.95 °brix และ%AIS เฉลี่ย 12.76% พบว่า เมื่อบ่มนานขึ้น TSS และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ %TA, %AIS และ ความแน่นเนื้อลดลงที่ทุกระดับอัตราส่วน CaC_2: มะม่วงที่ใช้ และพบว่าการใช้ CaC_2: มะม่วง 12g /4 kg จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) มะม่วงแก้วสุกที่ได้จากการบ่มด้วย CaC_2: มะม่วง 12 g / 4 kg 7 วัน จะมี TSS เฉลี่ย 18.9 °brix และ%TA เฉลี่ย 0.88

มะม่วงสุกระดับที่เหมาะสำหรับการแปรรูปเป็นน้ำมะม่วง มี TSS ช่วง 16.0-18.0°brix pH 4.0-5.0 และ %TA 0.3-0.6 (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด และคณะ,2541)

องค์ประกอบทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

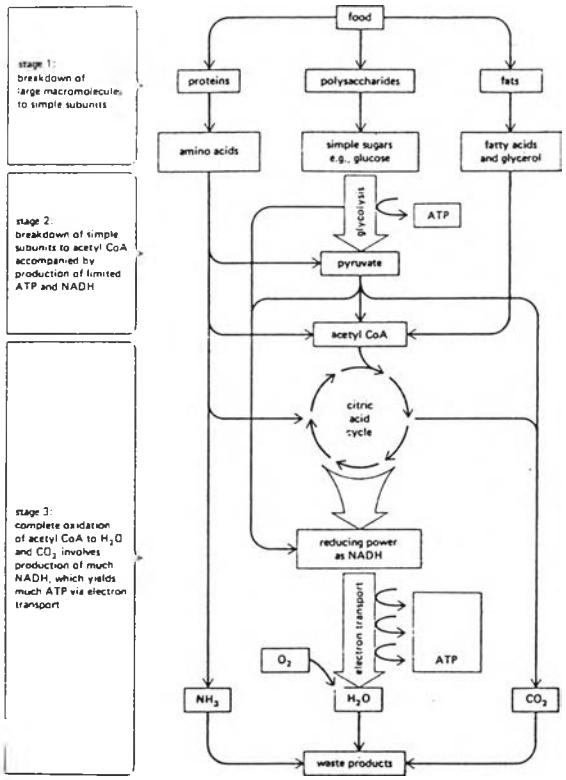
หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงจะเข้าสู่ระยะ climacteric คือ มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมากมาย ขั้นตอนของกระบวนการหายใจแสดงดังรูปที่ 2.2 หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่

1) แป้ง (starch) เมื่อผลไม้มีการเจริญเติบโตเต็มที่ จะมีการสะสมแป้งอยู่มาก หลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อผลไม้สุกปริมาณแป้งจะลดลง เนื่องจากแป้งจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาลทำให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มขึ้น

2) น้ำตาล (sugar) หลังการเก็บเกี่ยวเมื่อผลไม้สุก ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลนั่นเอง

3) กรดอินทรีย์ (organic acid) หลังการเก็บเกี่ยว ผลไม้จะมีการหายใจเพิ่มมากขึ้น ขั้นตอนของกระบวนการหายใจจะประกอบด้วยโมเลกุลของกรดชนิดต่างๆ กรดอินทรีย์ต่างๆในผล

ไม้ เช่น citric acid , malic acid จะเป็นโมเลกุลสารตั้งต้น(substrate) ที่สำคัญในวัฏจักรเครบ (Krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวเมื่อผลไม้สุกปริมาณกรดในผลไม้จะลดลง มีผลทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นด้วย (Seymour ,Taylor และ Tucker, 1993)



รูปที่ 2.2 : แผนภูมิแสดงขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการหายใจ

ที่มา : Albert , Bray, Lewis, Raff , Roberts และ Watson , 1983

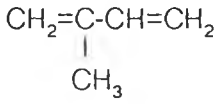
4) สารประกอบที่ให้สี (pigment) ภายหลังการเก็บเกี่ยวมักมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น โดยเฉพาะสีเขียวจะหายไปและมักปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้นแทน คลอโรฟิลล์(chlorophyll) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวตลอดเวลา แต่ในระหว่างการสุก(climacteric phase) และการเสื่อมสลาย (senescence) การสลายตัวจะเกิดขึ้นได้มากกว่าทำให้คลอโรฟิลล์หมดไปในที่สุด การสูญเสียสีเขียวมักจะเกิดพร้อมๆกับการปรากฏขึ้นของสีเหลืองและสีแดงซึ่งเป็นกลุ่มสารให้สีอีกประเภทหนึ่ง คือ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างไปจากคลอโรฟิลล์ Hulme (1971) และ Patwardhan (1972) รายงานว่า ในช่วงแรกหลังการเก็บเกี่ยว มะม่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นและรสชาติอย่างช้าๆ แต่หลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว 3-4 วัน การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว และสำหรับการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองในเนื้อมะม่วง ชี้ว่ามีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกนั่นเอง

แคโรทีนอยด์ (carotenoids)

แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มสารประกอบที่ให้สี(pigment) พบใน โครโมพลาส(chromoplast) เป็นโครงสร้างที่ให้สีในช่วงสีเหลืองส้มและแดง เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายไขมัน สามารถดูดกลืนแสงช่วงคลื่น visible light 350-600 nm

โครงสร้างแคโรทีนอยด์

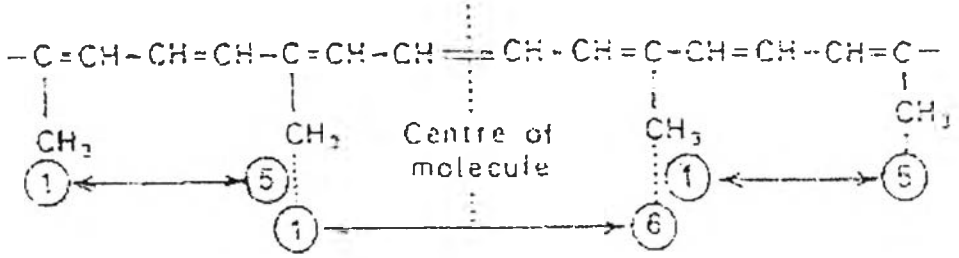
แคโรทีนอยด์มีโครงสร้างเป็น long unsaturated hydrocarbon chain ประกอบด้วยหน่วยย่อยไอโซพรีน (isoprene unit : C_5H_8, diene) 8 หน่วย เชื่อมต่อกับ end group ($C_{40}H_{56}$-end group) แคโรทีนอยด์แต่ละชนิดจะมี end group ต่างชนิดกันและจะมีคุณสมบัติตามลักษณะเฉพาะของหมู่ end group ที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงสร้างหลักนั้น (Goodwin, 1984)



รูปที่ 2.3 : ลักษณะหน่วย isoprene 1 หน่วย

ที่มา : Goodwin, 1984

หน่วยไอโซพรีนจะถูกเชื่อมต่อกันระหว่างหัวโมเลกุลกับท้ายโมเลกุล ยกเว้นตำแหน่งกลางโมเลกุลที่จะเกิดการหมุนกลับเปลี่ยนเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างท้ายโมเลกุลกับท้ายโมเลกุล ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของแคโรทีนอยด์เกิดความสมมาตร ดังนั้นจะมีผลให้เกิดหมู่ methyl ที่ตำแหน่งคาร์บอน 1,6 ในส่วนกึ่งกลางของโมเลกุล ส่วนหมู่ methyl ที่ตำแหน่งอื่นๆ จะถูกแบ่งโดยคาร์บอนอะตอมจำนวน 5 อะตอม ทำให้มีหมู่คาร์บอนที่ตำแหน่งคาร์บอน 1,5 แสดงดังรูป



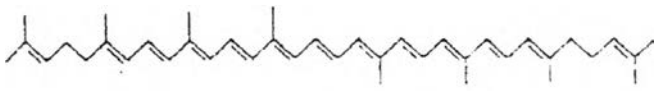
รูปที่ 2.4 : การเชื่อมต่อกันของหน่วยไอโซพรีน และตำแหน่งของหมู่ methyl

ที่มา : Goodwin, 1984

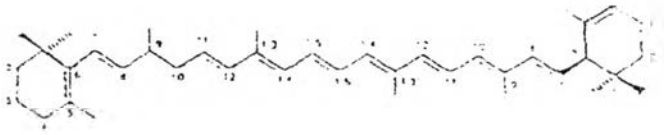
ประเภทแคโรทีนอยด์

แบ่งตามส่วนประกอบของโครงสร้าง ได้ 2 กลุ่ม (Klaui และ Bavernfeind, 1981)

1) carotenoid hydrocabon ซึ่งรู้จักกันในชื่อ carotene คือ แคโรทีนอยด์ที่โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมของ carbon และ hydrogen เท่านั้น เช่น beta carotene (β-carotene), alpha carotene (α-carotene) และ lycopene เป็นต้น



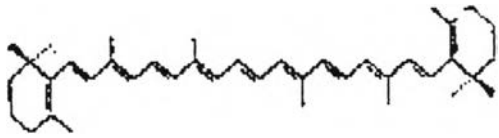
รูปที่ 2.5 : โครงสร้างของ lycopene



รูปที่ 2.6 : โครงสร้างของ α-carotene

ที่มา : Gross, 1991

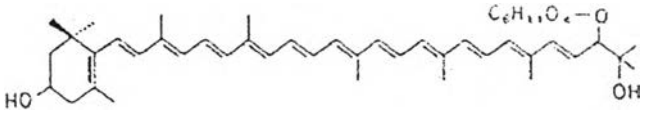
บีตาแคโรทีน (beta carotene ; β-carotene) เป็นแคโรทีนอยด์ที่ประกอบด้วย $C_{40}H_{56}$-2 β-ionone rings มี conjugated double bonds ดูดกลืนแสงได้ในช่วงคลื่น 450-460 nm



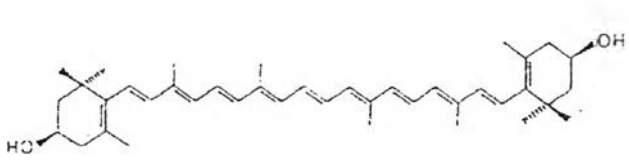
รูปที่ 2.7 : โครงสร้างของบีตาแคโรทีน (beta-carotene)

ที่มา : Gross, 1991

2) oxygenated carotenoid ซึ่งรู้จักกันในชื่อ xanthophyll คือ แคโรทีนอยด์ที่โครงสร้างประกอบด้วยอะตอมของ carbon, hydrogen และ oxygen เช่น myxoxanthophyll, zeaxanthin เป็นต้น



รูปที่ 2.8 : โครงสร้างของ myxoxanthophyll



รูปที่ 2.9 : โครงสร้างของ zeaxanthin

ที่มา : Gross, 1991

แคโรทีนอยด์ที่พบมีลักษณะรูปแบบต่างๆกัน ดังนี้ (Haigh,1994)

1) หยดไขมันเล็กๆ(droplet) กระจายในเซลล์เนื้อเยื่อ
2) กระจายตัวเป็น colloidal ในส่วนที่เป็นไขมัน
3) จับตัวกับโปรตีนใน aqueous phase เช่นในผลไม้
4) เกิดเอสเทอร์ (esterification) กับกรดไขมัน เช่นในผลไม้สุก

ประโยชน์ทางโภชนาการของแคโรทีนอยด์ (Block และ Langseth,1994)

1) pro-vitamin A

แคโรทีนอยด์เป็นสารตั้งต้นที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ วิตามินเอเป็นสารประกอบ alcohol ที่ไม่อิ่มตัว มีชื่อว่า retinol แสดงดังรูป ในธรรมชาติมีสีเหลืองอ่อน พบในอาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ เช่น นม เนย และพบในผักผลไม้ที่มีสีเหลือง เช่น แครอท ส้ม และมะม่วงสุก เป็นต้น พบว่าแคโรทีนอยด์สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ โดยกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของร่างกาย

รูปที่ 2.10 : โครงสร้างของวิตามินเอ (retinol)

ที่มา : Block และ Langseth,1994

การสร้างวิตามินเอ จำเป็นต้องมีวงแหวน β-ring อย่างน้อย 1 วง ดังนั้นบีตาแคโรทีนซึ่งประกอบด้วยวงแหวน β-ring 2 วง จึงมีค่าโปรวิตามินเอแอคติวิตี้ (pro-vitamin A activity) สูงสุด แคโรทีนอยด์แต่ละตัวจะมีค่าโปรวิตามินเอแอคติวิตี้แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 pro-vitamin A activity ของแคโรทีนอยด์บางชนิด

carotenoids	pro-vitamin A activity(%)
all-trans beta-carotene	100
9-cis-beta-carotene	38
13-cis-beta-carotene	53
all-trans-alpha-carotene	53
all-trans-cryptoxanthin	57
beta-carotene 5,6-epoxide	12

ที่มา :Gross,1991

จากการศึกษา พบว่าบีตาแคโรทีน 6 ไมโครกรัม จะสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ ได้ 1 ไมโครกรัม การได้รับบีตาแคโรทีนในปริมาณมากจะไม่ทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย ดังนั้นสำนักงานอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาจึงจัดบีตาแคโรทีน ไว้ในกลุ่มอาหารปลอดภัย

บีตาแคโรทีนสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ ตามปฏิกิริยาชีวเคมี ในร่างกายดังนี้

β-carotene

↓

End-position-oxidation

↓

β-apo-8'-carotenal

↓

β-apo-10'-carotenal

↓

β-apo-12'-carotenal

↓

β-apo-14'-carotenal

↓

Retinal

↓

Retinol (vitamin A)

รูปที่ 2.11 : กระบวนการทางชีวเคมีในการเปลี่ยน beta-carotene เป็น Vitamin A

ที่มา : Gross,1991

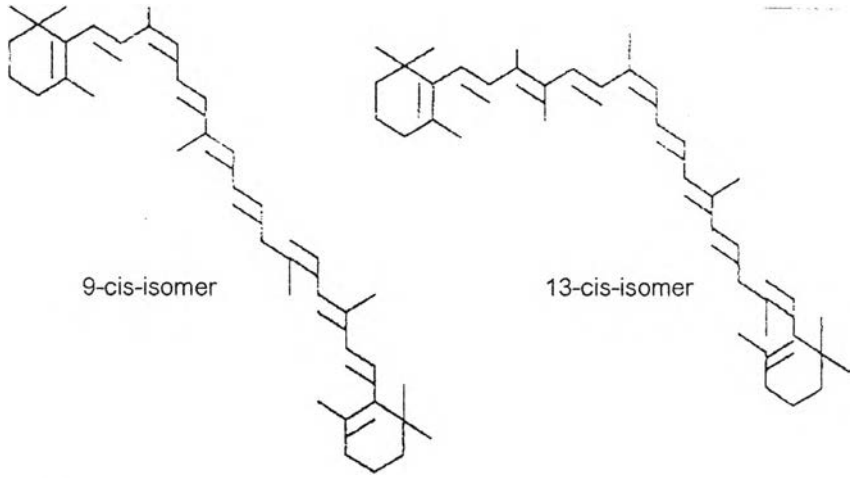
2) antioxidant

บีตาแคโรทีน ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant หรือสารยับยั้งอนุมูลอิสระ(free radical) โดยการเข้าไปจับกับอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการสลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ และยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่จะเกิดขึ้นได้ เช่นเดียวกับวิตามินอีและวิตามินซี อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบต่างๆของเซลล์ของร่างกาย เช่น DNA, protein molecule, carbohydrate molecule กรดไขมันอิ่มตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ จนเกิดการทำลายเซลล์และการสะสมของเซลล์ที่ถูกทำลายอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่การเกิดโรคหัวใจและโรคมะเร็งบางชนิด ดังนั้นการได้รับบีตาแคโรทีน วิตามินอีและวิตามินซีจึงช่วยลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคเหล่านี้ ในปัจจุบันไม่มีการกำหนดปริมาณความต้องการประจำวันของบีตาแคโรทีนมีเพียงคำแนะนำของสำนักงานอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาที่เสนอให้บริโภคบีตาแคโรทีนวันละ 5.2 มิลลิกรัม (Block และ Langseth, 1994)

<u>การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของแคโรทีนอยด์</u> (Goodwin,1984 ; Chen, Chen และ Chien,1994)

การเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมสลาย ที่เกิดขึ้น แบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

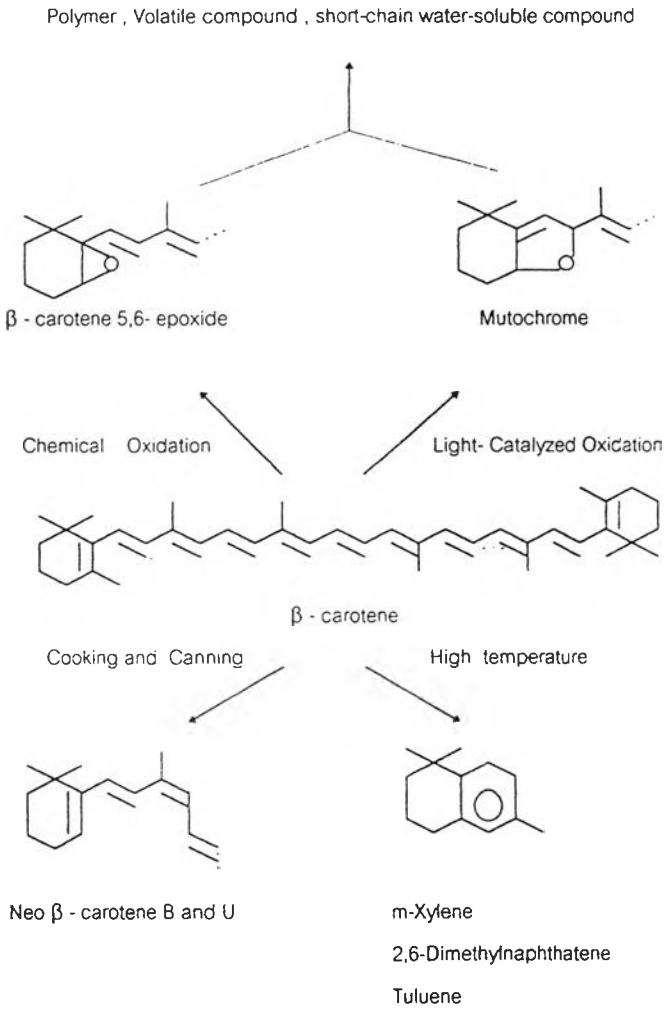
1) isomerization การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้าง ด้านตำแหน่ง(position) และรูปร่าง(geometrical) จากสภาวะปกติคือ trans-isomer ไปเป็น cis-isomer ซึ่งโครงสร้างที่มักเกิดขึ้นคือ 9-cis-isomer และ 13-cis-isomer เนื่องจากแสงและความร้อนในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา



<u>รูปที่ 2.12</u> : โครงสร้างของ 9-cis-beta-carotene และ 13-cis-beta-carotene

ที่มา : Goodwin,1984

2) degradation การเปลี่ยนแปลงลักษณะการสลายตัว ทำให้เกิด volatile compound เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation) ในภาวะที่มีออกซิเจนโดยมีความร้อน แสง และโลหะเป็นตัวเร่ง



<u>รูปที่ 2.13</u> : ปฏิกิริยาการสลายตัว (degradation) ของ beta-carotene

ที่มา : Goodwin,1984

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์

เนื่องจากแคโรทีนอยด์มีโครงสร้างเป็น long unsaturated hydrocarbon chain ดังนั้น จะเกิด oxidation reaction ได้ง่าย (Goodwin,1984) โดยมีปัจจัยเร่ง ดังนี้

1) ความร้อน

ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารมีผลให้แคโรทีนอยด์เกิด Thermal isomerization โดยทำให้แคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูป all trans-form เกิดการบิดตัว 180 องศา เป็น cis-form ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งจะเสื่อมสภาพได้มากกว่ารูป trans-form และ cis-from ที่เกิดจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่าและมี molecular extinction coefficient ที่ต่ำกว่าทำให้สีอ่อนกว่า โดยจะเปลี่ยนสีจากสีส้มแดงเป็นสีส้มเหลือง

Thermal isomerization คือ การเปลี่ยนแบ่ลงอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการสูญเสียสีของผลิตภัณฑ์ไป โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนมีผลมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ดังนั้นในกระบวนการผลิตไม่ควรใช้ความร้อนแบบ high temperature short time บีตาแคโรทีนจะมีจุดหลอมเหลวที่ 136-140°C และที่อุณหภูมิสูงกว่า 190-200°C จะทำให้บีตาแคโรทีนเสื่อมสลายเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ (Josse,1987)

Chen, Peng และChen (1995) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี แคโรทีนอยด์และวิตามินเอระหว่างการผลิตน้ำแครอท แปรอุณหภูมิช่วง 105-110 องศาเซลเซียส เวลา 10-30 วินาที และแปรอุณหภูมิเป็น 121 องศาเซลเซียส 30 นาที สำหรับการน้ำแครอทบรรจุกระป๋อง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ปริมาณแคโรทีนอยด์จะลดลง เกิด 13-cis-beta-carotene มากขึ้น สีของน้ำแครอทจะเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเหลือง และปริมาณวิตามินเอจะน้อยลง สำหรับน้ำแครอทที่บรรจุกระป๋อง พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์จะลดลงมากที่สุดและสีของน้ำแครอทจะเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเหลืองเข้ม

2) ออกซิเจน

การที่แคโรทีนอยด์สัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจะทำให้พันธะคู่ในโมเลกุลจับตัวกับออกซิเจน ได้เป็นส่วนผสมสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิลและสารประกอบที่ระเหยได้ ปฏิกิริยานี้เป็น direct oxidation (Chou และ Bree, 1972) ซึ่งอัตราการสูญเสียแคโรทีนอยด์จะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ แสง และความร้อนซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดการออกซิเดชันด้วย จากการศึกษาพบว่า โครงสร้างที่เป็น β-ring จะไวต่อการถูกออกซิไดซ์มากที่สุด เมื่อเก็บแคโรทีนอยด์ในที่มีออกซิเจน จะทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์

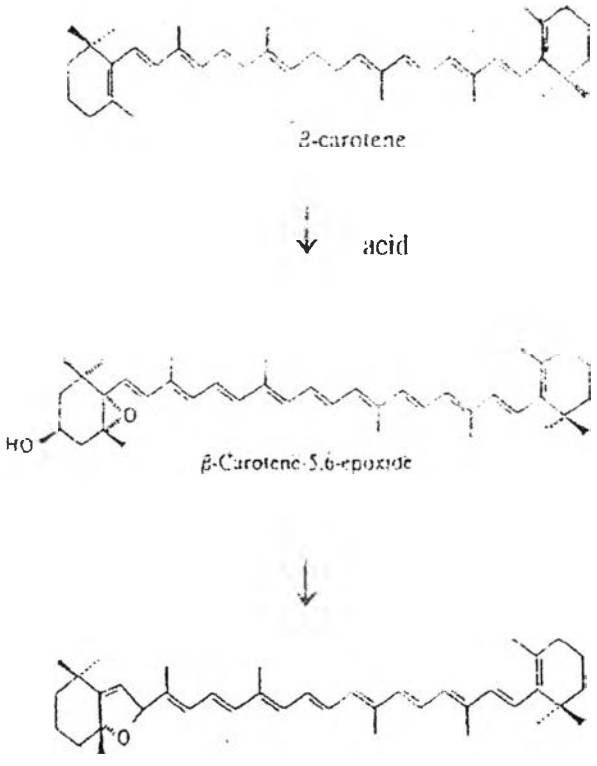
อย่างรวดเร็ว โดยที่บีตาแคโรทีนจะสูญเสียเป็นตัวแรก ส่วนแคนทาแซนทีน (canthaxanthin) ซึ่งไวต่อการถูกออกซิไดซ์น้อยที่สุด จะสูญเสียได้ช้าที่สุด (Gross,1991)

Goldman , Horev และ Saguy (1983) ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของออกซิเจนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีน ใน dry CMC model system ที่ 35°C โดยแปรความเข้มข้นออกซิเจน(O_2) ในระบบ (N_2:O_2) เป็น 0 - 20.9% พบว่า ความเข้มข้นของออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณบีตาแคโรทีนลดลง และเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้นการสูญเสียบีตาแคโรทีนจะเพิ่มมากขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องมาจาก ออกซิเจนทำให้โมเลกุลของบีตาแคโรทีนซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ Iddamaria และ Hoffmann (1994) ได้แสดง การรวมตัวของ beta carotene radical ดังนี้

Beta carotene + O_2 → beta carotene-OO● → Carotenal + Carbonyl

3) ความเป็นกรด

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ในสภาวะที่รุนแรง และมีการใช้ oxidizing agent ที่รุนแรงร่วมกับความร้อนและกรด จะทำให้เกิดสารประกอบพวกอีพอกไซด์ (epoxide)ชนิดต่างๆ ซึ่งเกิดจากการจับตัวของออกซิเจนตรงพันธะคู่ในโครงสร้าง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีซีดจางลง



<u>รูปที่ 2.14</u> : ปฏิกิริยาการเกิด epoxide isomerism

ที่มา : Goodwin,1984

4) กรดไขมันไม่อิ่มตัว

สีของแคโรทีนอยด์ที่จางหายไปอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอื่นๆ ที่รวมอยู่ด้วย ได้แก่ กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น linoleic acid ซึ่งสามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้เอง (autoxidation) และจะทำให้แคโรทีนอยด์เกิดการออกซิเดชันตามไปด้วยซึ่งเรียกว่า co-oxidation การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็น indirect oxidation (Goodwin,1984)

5) แสงสว่าง

แสงเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการออกซิเดชัน ทำให้สีและกลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป แคโรทีนอยด์ทุกตัวจะไวต่อแสง สำหรับบีตาแคโรทีนแสงจะทำให้เกิด cis-trans isomerism เช่นเดียวกับที่เกิดจากความร้อน Pesek และ Warthesen (1987) ได้ศึกษาการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในผลิตภัณฑ์น้ำแครอทและน้ำมะเขือเทศเนื่องจากแสง โดยผ่านแสงฟูลออเรสเซน (fluorescent light) ความเข้ม 250 ft-c ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 8 วัน พบว่าปฏิกิริยาการสลายตัวของแคโรทีนอยด์จัดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order reaction) ซึ่งการสลายตัวของบีตาแคโรทีนจะมีค่าคงที่ของปฏิกิริยา (rate constant) เท่ากับ 0.309 day^{-1} และพบว่าแสงมีผลทำให้ค่า yellowness (b) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสัมพันธ์กับการสลายตัวของบีตาแคโรทีน (r^2=0.97)

Pesek และ Warthesen (1990) ได้ทำการทดลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีน ในน้ำแครอทเนื่องจากแสงในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำน้ำแครอทบรรจุในหลอดแก้วใส เก็บในที่มืดและที่มีแสง อุณหภูมิ 28°C , 30 วัน พบว่า การเก็บที่ไม่มีแสงเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น all-trans beta carotene จะลดลง ในขณะที่ 9-cis beta caratene และ 13-cis beta carotene มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และจากผลการทดลองพบว่า 13-cis beta carotene เกิดได้ดีกว่า 9-cis beta carotene เนื่องจาก 13-cis beta carotene จะมีพลังงานกระตุ้นในการเกิดต่ำกว่า (พันธะคู่ที่ C-13 จะอ่อนแอกว่าที่ C-9) นั่นคือในสภาวะการเก็บที่ไม่มีแสง บีตาแคโรทีนจะเกิด isomerization ได้ดี และสำหรับการเก็บในสภาวะที่มีแสง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น all-trans beta carotene ลดปริมาณลงมากในขณะที่ 9-cis beta caratene และ 13-cis beta carotene มีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่มีแสงเป็นปัจจัยเร่ง บีตาแคโรทีนจะเกิดการ degradation ได้ดีกว่าการเกิด isomerization นั่นเอง และการลดลงของบีตาแคโรทีนเนื่องจากแสง จัดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

6) เอนไซม์

ในระดับเซลล์แคโรทีนอยด์จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของแคโรทีนอยด์กับโปรตีน ที่มีเสถียรภาพที่ดี ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันสารในเนื้อเยื่อที่ยังไม่ถูกทำลายระหว่างการเก็บเกี่ยว แต่ถ้า

เนื้อเยื่อถูกทำลายจะมีการปล่อยเอนไซม์ออกมา ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของแคโรทีนอยด์ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เช่น Peroxidase Lipoxidase และ Lipoperoxidase เป็นต้น (Klaui และ Bavernfeind, 1981) ในกระบวนการผลิตการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการทำลายแคโรทีนอยด์ได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ก่อนการลวกจะเกิดจากเอนไซม์ แต่การเปลี่ยนแปลงหลังจากนั้น จะเกิดจากความร้อนและปัจจัยอื่นๆแทน (Park,1987)

Carotenoid ------ $^{\text{Peroxidase}}$--------> 5,6- epoxide -------- $^{\text{plant acid}}$---------> furanoid oxide

รูปที่ 2.15 : การเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์เนื่องจากเอนไซม์

ที่มา : Goodwin,1984

7) น้ำ

น้ำเป็นระบบป้องกันเพื่อไม่ให้แคโรทีนอยด์สัมผัสกับออกซิเจน กลไกการป้องกันมี 2 ประการที่สำคัญ ดังนี้

7.1) การลด free radical activity โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างน้ำและโมเลกุลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) หรือโมเลกุลที่ผิวหน้าอาหาร และเพิ่มขยายชั้นไปปกคลุมป้องกันไม่ให้แคโรทีนอยด์ได้สัมผัสกับออกซิเจน

7.2) การลด metal catalyst activity โดยการเกิด formation ของ insoluble metal hydroxide ดังนั้นการออกซิเดชันจึงเกิดได้น้อยลง

Goldman , Horev และ Saguy (1983) ได้ศึกษาผลของค่า water activity ต่อการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีน พบว่าตัวอย่างอาหารแห้งที่มีค่า water activity 0.84 จะสามารถรักษาปริมาณบีตาแคโรทีนไว้ได้มากกว่าตัวอย่างที่มีค่า water activity 0.33 เนื่องจากปริมาณ free radical ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิด pigment oxidation จะลดลงโดยการทำปฏิกิริยากับน้ำ และการลดลงนี้จะดำเนินต่อไปเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล (Browning reaction)

แบ่งได้ 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่

1. Enzymatic browning

phenolic compound + Phenolase(PPO)+ oxygen+ copper

↓

o-quinone : reactive molecule

↓

brown pigment

รูปที่ 2.16 : ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning)

ที่มา : Lee ,1983

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นเมื่อผลไม้ถูกหั่นหรือช้ำ ซึ่งมีผลทำให้เอนไซม์ substrate และออกซิเจนมีโอกาสสัมผัสกัน เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ ปฏิกิริยาช่วงที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง จะผลิต o-quinone (reactive molecule) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนและสารอื่นๆได้ สารใหม่ที่เกิดขึ้นนี้ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย เกิด polymerize ต่อได้สารโพลิเมอร์ที่มีสีน้ำตาล

วิธีป้องกัน Enzymatic browning มีดังนี้

- การคัดเลือกพันธุ์ของวัตถุดิบ เลือกสายพันธุ์ที่ไม่มี phenolic compound หรือ Phenolase หรือมีในปริมาณต่ำ
- ความร้อนยับยั้งการทำงาน (inactivate) เอนไซม์ Phenolase โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90°C Sakho และ คณะ (1998) ได้ทำการลวกชิ้นมะม่วงโดยการจุ่มในน้ำเดือด เพื่อยับยั้งการทำงานของ Endogenous pectolytic enzyme และ Phenolase enzyme พบว่าการลวกชิ้นมะม่วง ด้วยน้ำเดือดโดยรักษาให้อุณหภูมิตรงกลางชิ้นคงไว้ที่ 60°C นาน 5 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง สามารถที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวข้างต้นได้
- ปรับให้ pH<3.5 ซึ่งไม่เหมาะกับการทำงานของเอนไซม์ Phenolase pH ที่เหมาะกับการทำงานของเอนไซม์ Phenolase ในมะม่วงคือ pH ~ 5.5-5.8 (Singh ,1960)
- การเติมวิตามินซี (ascorbic acid) เนื่องจากวิตามินซีสามารถรีดิวซ์ o-quinone ทำให้ ascorbic acid ถูกออกซิไดซ์เป็น dehydroascorbic acid ซึ่งทำให้ไม่เกิดสีน้ำตาล แต่ต้องเสียวิตามินซีไป และเมื่อวิตามินซีหมดก็จะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้

- การเติมสาร bisulfite ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยการแย่งจับออกซิเจนทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่ได้ หรืออาจเข้าทำปฏิกิริยากับ o-quinone เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี
- วิธีการอื่นๆ เช่น การแช่ในน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือเพื่อทำให้ออกซิเจนเข้าไปสัมผัสได้ช้าลง การเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดได้น้อยลง

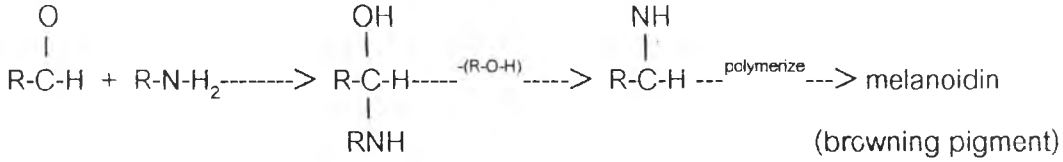
2. Non enzymatic browning

แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1 Maillard reaction

เป็น non enzymatic browning reaction ชนิดหนึ่ง เกิดจากปฏิกิริยาเคมี มีผลทำให้สีกลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป ปฏิกิริยาคือ สารละลายของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนเกิดสารสีน้ำตาลแดง อัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นกับชนิดของน้ำตาลและกรดอะมิโน นับเป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้

Maillard reaction เป็นปฏิกิริยาที่ค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากมีปฏิกิริยาหลายชนิดเกิดร่วมกัน สารตั้งต้นที่สำคัญ คือ α-amino acid หรือ amine และสารประกอบคาร์บอนิล เช่น กลูโคส (glucose) และ ฟรุกโตส (fructose) เป็นต้น



รูปที่ 2.17 : ปฏิกิริยาหลักของ Maillard reaction

ที่มา : Lee ,1983

วิธีป้องกัน Maillard reaction มีดังนี้

- กำจัดคาร์โบไฮเดรตที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือกำจัดสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิล ซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยา อาจใช้สารประเภท bisulfite
- ลด pH เพื่อทำให้หมู่อะมิโนเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลได้ไม่ดี

2.2 Caramelization reaction

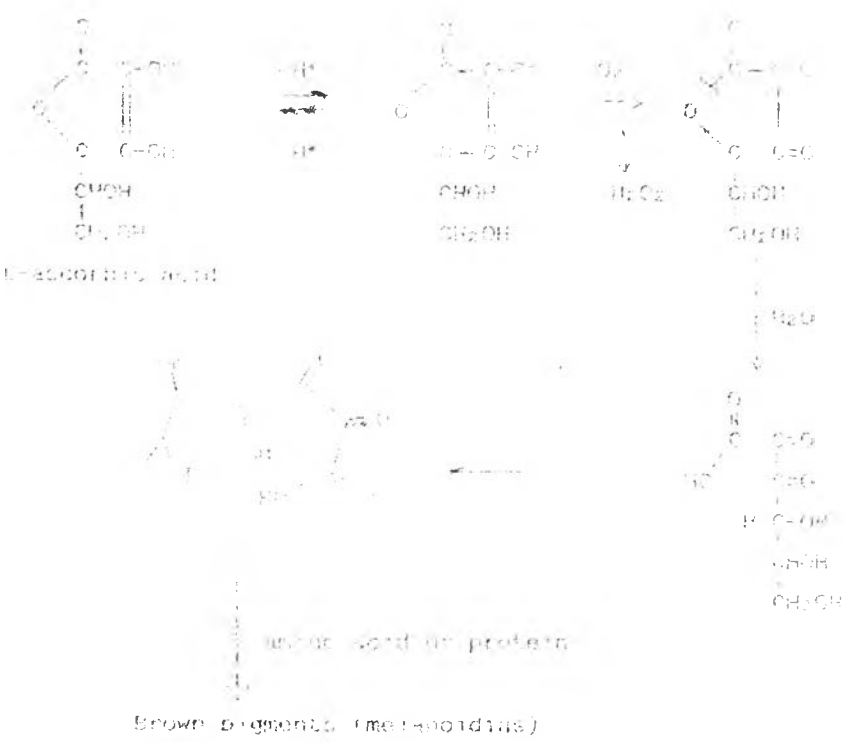
เป็นปฏิกิริยา non enzymatic browning ที่เกิดจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาลที่อุณหภูมิสูง โดยมีสภาวะที่เป็นกรด(acid) หรือด่าง(alkali) เป็นตัวเร่ง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบที่

ระเหยได้ ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาเป็นการเกิด dehydration, fragmentation และ condensation เป็นหลัก

2.3 Ascorbic acid oxidation

ascorbic acid เป็น reducing agent ที่ดี หรือถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย แต่ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีให้รงควัตถุสีน้ำตาล (brown pigment)ได้ ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญในกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ที่มี ascorbic acid สูง

ascorbic acid + oxygen + heat + acid → brown pigment (melanoidins)



รูปที่ 2.18 : ปฏิกิริยา Ascorbic acid oxidation

ที่มา : Belitz และ Grosch ,1987

Lee และ Chen (1998) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีและ non-enzymatic browning ของน้ำส้มเข้มข้นพาสเจอร์ไรซ์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C, 14°C และ 24°C เป็นเวลา 19 สัปดาห์ ทำการวัดปริมาณวิตามินซี สี(L,a,b) และ non-enzymatic browning โดยการวัดกลุ่มสารสีน้ำตาลที่ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 420 nm พบว่าที่อุณหภูมิ 4°C ปริมาณวิตามินซีและสีมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นช้ากว่าที่สภาวะอื่น และ non-enzymatic browning ไม่มี

การเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาเก็บ ที่อุณหภูมิ 14°C และ 24°C จะพบว่าในช่วง 6-8 สัปดาห์แรก non enzymatic browning มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงจะมีความลาดชัน(slope)เพิ่มมากขึ้น นั่นคือเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง โดยที่อุณหภูมิ 14°C จะเพิ่มขึ้น 2 เท่าของเริ่มต้น และที่อุณหภูมิ 24°C จะเพิ่มขึ้น 3.2 เท่าของเริ่มต้น การเกิด non enzymatic browning จะสัมพันธ์กับการสลายตัวของวิตามินซี นั่นคือเมื่อเกิดการสลายตัวของวิตามินซี (vitamin C degradation) จะทำให้เกิด หมู่คาร์บอนิลที่ไม่คงตัว (reactive carbonyl group) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่มีบทบาทสำคัญมากในการเกิดสารสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาน้ำผลไม้ (Clegg ,1964)