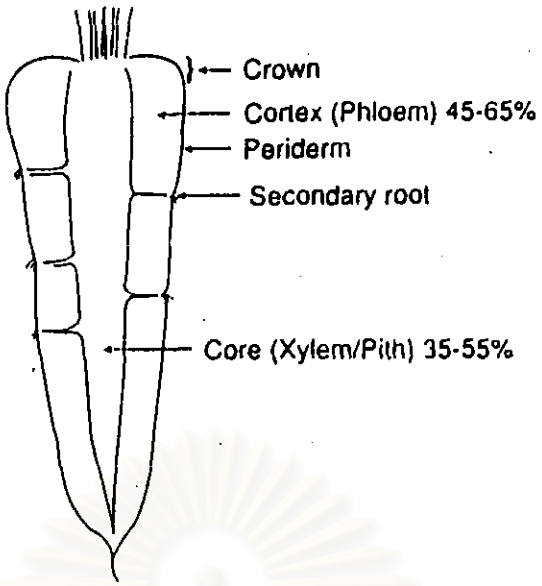
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

แครอท (carrot) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Daucus carota var sativa อยู่ในตระกูล Umbelliferae เช่นเดียวกับ คื่นฉ่าย (celery) และผักชีฝรั่ง (parsely) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในยุโรป เอเชีย และอเมริกาเหนือ เป็นพืชสองฤดู (biennial) เป็นพืชหัวที่มีราก ปลูกเพื่อนำส่วนรากมาใช้ประโยชน์ (Douglas and Considine, 1982) เป็นแหล่งสำคัญของวิตามินเอ บีหนึ่ง บีสอง และซี (Ware and McCollum, 1980) และยังเป็นแหล่งที่ดีของ dietary fiber ด้วย (Brunsgaard et al., 1994) มีหลายสี ตั้งแต่สีส้ม สีส้มแดงไปจนถึงสีเหลือง เนื่องจากมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่ให้สีในแครอท โดยเฉพาะเบตาแคโรทีน (β - carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ มีประมาณ 45-80 % ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และยังมีแอลฟาแคโรทีน (α - carotene) ประมาณ 15 - 40% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ในขณะที่ β - zeacarotene , แกมมาแคโรทีน (γ - carotene) และไลโคปีน (lycopene) มีประมาณ 3-6 % แต่พบว่าแครอทบางพันธุ์ เช่น พันธุ์ Kintoki ในประเทศญี่ปุ่น มีปริมาณไลโคปีนในปริมาณที่สูงกว่าเบตาแคโรทีนและแอลฟาแคโรทีน (Gross, 1991) ปริมาณเบตาแคโรทีนในแครอทขึ้นอยู่กับพันธุ์ ขนาด ความแก่อ่อน อุณหภูมิ และฤดูในการปลูก โดยพบว่าปริมาณเบตาแคโรทีนในแครอทมีปริมาณ 0.85-8.5 mg / 100g น้ำหนักสด (Heinone, 1990)

รงควัตถุแคโรทีนอยด์มีปริมาณกระจายทั่วในแครอท แต่ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์จะต่างกันตามส่วนต่างๆ ของแครอท (รูปที่ 1) โดยพบว่าความเข้มข้นของแคโรทีอยด์ในส่วน phloem (cortex) มีปริมาณมากกว่าที่พบในส่วน xylem (core) ประมาณ 30% จึงทำให้ 2 ส่วนนี้มีสีต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์จะมีปริมาณลดลงจากส่วนหัวสู่ปลายรากแครอท (Gross, 1991)



รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปของแครอท (Douglas and Considin, 1982)

<u>พันธุ์แครอท</u>

พันธุ์ต่าง ๆ ของแครอทแบ่งแยกตามลักษณะเฉพาะได้ดังนี้ (Douglas and Connidine, 1982; Macrac, Robinson and Sadler, 1993)

1. พันธุ์ Chantenay เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากในสหรัฐอเมริกา มีขนาดปานกลาง ลักษณะรูปกรวย สั้น แก่ช้า มีความยาว 4.5 - 5.5 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 - 2 นิ้ว ทั้งแกนกลาง (core)และเนื้อ (cortex) มีสีส้มเข้ม เหมาะสำหรับบรรจุกระป๋อง, ทำแห้ง และใช้บริโภคในรูปผักสด ส่วนที่มีขนาดใหญ่จะนำมาทำเป็นแผ่นบางๆ สำหรับบรรจุกระป๋องและแช่แข็ง แครอทพันธุ์ chantenay ยังแบ่งแยกเป็น 2 พันธุ์ ได้แก่ Red cored chantenay ซึ่งแกนกลาง (core) จะมีสีส้มเข้ม และพันธุ์ Royal chantenay ซึ่งแกนกลางจะมีสีเหลือง

2. พันธุ์ Amsterdam Forcing มีขนาดเล็กถึงปานกลาง ลักษณะรูปทรงกระบอก ยาว เรียว แก่เร็ว ปลูกมากในต้นฤดูหนาว

3. พันธุ์ Nantes มีขนาดปานกลาง ลักษณะรูปทรงกระบอก อ้วนสั้น แก่เร็วปานกลาง มีความยาว 4.5-6 นิ้ว ทั้งแกนกลาง (core) และเนื้อ (cortex) มีสีส้มเข้มเหมาะสำหรับใช้บริโภคในรูปผักสด บรรจุกระป๋อง และการทำ pre-packing

4. พันธุ์ Berlicum มีขนาดใหญ่ ลักษณะรูปทรงกระบอกสั้น แก่ช้า ปลูกสำหรับใช้บริโภคในรูปผักสด และทำ pre - packing

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. พันธุ์ Imparator มีความยาว 6 - 7 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 - 1.75 นิ้ว แกนกลาง (core) มีสีส้มเข้ม เนื้อ (cortex) มีสีเหลืองอ่อน เหมาะสำหรับบริโภคในรูปผักสด พันธุ์ที่นิยมปลูก คือ Long Imperator

6. พันธุ์ Danvors มีความยาว 5 - 6 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 - 1.75 นิ้ว เนื้อ (cortex) มีสีเหลืองอ่อน คุณภาพดีขณะยังอ่อน เมื่อแก่จะมีเส้นใยมาก เหมาะสำหรับบริโภคในรูปผักสด และนำไปแปรรูป พันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ พันธุ์ Danvers 126

7. พันธุ์ Autumn King มีขนาดใหญ่ ลักษณะเรียวแหลม แก่ช้า ผิวขรุขระ ปลูกสำหรับใช้บริโภคในรูปผักสด

8. พันธุ์หงษ์แดง (New Kuruda) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากในประเทศไทย (อารมณ์ เทศแก้ว, 2533)

<u>การปลูกแครอท</u>

ดิน แครอทเติบโตได้บนดินร่วนที่มีการระบายน้ำดี หน้าดินลึก และมีความอุดมสมบูรณ์สูง และดินทรายที่มีการเติมสารอินทรีย์มากๆ ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก เพราะอินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ดินโปร่งขึ้น รากจึงเจริญเติบโตได้ดี แต่ข้อควรระวัง คือ ควรหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยคอกสดหรือปุ๋ยหมักสด เพราะแครอทที่ได้จะมีรูปร่างคดเคี้ยว มีขนมาก คุณภาพไม่ดี แต่ถ้าใช้ดินเหนียวควรมีการระบายน้ำที่ดี ดินที่แครอทเจริญได้ดีควรมี pH ประมาณ 6.5 ไม่ควรปลูกแครอทในดินที่เป็นกรดเพราะจะทำให้ผลผลิตต่ำ (นพวรรณ สมิทธินันท์ และ ผัฏฐา โตกเกษม , 2534 ; Douglas and Considine , 1982)

- อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูกแครอท คือ 15.6 - 21.1^{0}C (60 - 70^{0}F) โดยพบว่าถ้าปลูกแครอทที่อุณหภูมิสูงกว่า 21.1^{0}C จะทำให้แครอทที่ได้มีลักษณะสั้นและกุดด้วน ในขณะเมื่อปลูกแครอทที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15.6^{0}C แครอทที่ได้จะมีลักษณะยาวเรียว มีสีอ่อน และเมื่ออุณหภูมิในการปลูกแครอทสูงขึ้นในขณะแครอท อยู่ในระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ จะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแครอท และปริมาณผลผลิตที่ได้จะลดลง แครอทที่ได้มีเส้นใยมากขึ้นจึงมีลักษณะคล้ายเนื้อไม้ (woody) มีผิวขรุขระ และเกิดกลิ่นที่ไม่ต้องการในแครอท และเมื่ออุณหภูมิในการปลูกแครอทสูงกว่า 21.1^{0}C และต่ำกว่า 15.6^{0}C การสร้างแคโรทีนในแครอทจะลดลง (Douglas and Considine, 1982)

- ความชื้น พบว่าเมื่อในดินมีเปอร์เซนต์ความชื้นเพิ่มขึ้น จะทำให้การสร้างแคโรทีนในแครอทลดลง (Douglas and Considine, 1982)

- อายุในการเก็บเกี่ยวแครอท ปกติจะเก็บเกี่ยวแครอทหลังจากปลูกนาน 85-100 วัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ โดยพบว่าปริมาณแคโรทีนในแครอทพันธุ์ต่างๆ จะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อแครอทมีอายุได้ 90-100 วัน และจะลดลงหรือคงที่เมื่ออายุมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 (Gross, 1991)

ตารางที่ 1 ปริมาณแคโรทีนทั้งหมดในแครอทพันธุ์ต่างๆ ใน 4 ช่วงของระยะเวลาการปลูก

พันธุ์	ปริมาณเบตาแคโรทีนทั้งหมด (µg / g ของแครอทสด) จำนวนวันที่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว			
	76	83	90	97
Damvers Half - Long	44.5	50.8	71.2	57.3
Tendersweet	33.8	42.9	63.5	51.2
Chantenay Oregon Long	37.6	37.5	63.2	49.7
Nantes	43.2	39.7	62.6	51.4
Coreless Chamtenay	38.4	41.4	60.6	57.7
Imperator	39.0	33.4	59.7	51.3
Chamtenay	38.8	39.6	58.9	48.9
Touchon	40.1	47.6	56.1	49.1
Improved Nantes Coreless	37.0	43.8	56.0	40.6
Hutchison	26.6	28.3	37.0	32.8

และวิธีการเก็บรักษาแครอทมีผลต่อคุณภาพด้านรสชาติของแครอทด้วย โดยการเก็บรักษาแครอทหลังจากเก็บเกี่ยวในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิตู้เย็น พบว่าก๊าซเอธิลีน (ethylene gas) ที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นให้แครอทสังเคราะห์สารประกอบพวก 8 - hydroxy - 3 - methyl - 6 - methoxy - 3, 4 - dihydrocoumarin หรือที่เรียกว่าIsocoumarin ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดรสขม (bitterness) ในแครอท แต่แครอทสดที่เก็บเกี่ยวใหม่ๆ จะไม่พบสารชนิดนี้ ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาแครอทในที่มีการระบายอากาศดีหรือในถุงพลาสติกที่มีการเติม CO_2 จะทำให้เกิดสารชนิดนี้ลดลง (Simon, 1985)

ในประเทศไทยแครอทเจริญเติบโตได้ดีในฤดูหนาว คือ ควรปลูกระหว่างเดือนตุลาคมถึงมีนาคม ในฤดูหนาวสามารถปลูกได้ในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ปลูกมากบนดอยที่มีโครงการหลวง เช่น ดอยอ่างขาง ดอยอินทนนท์ ดอยสะเก็ด พื้นที่ราบเชิงดอย ได้แก่ จังหวัดเชียงราย ลำปาง เพชรบูรณ์ เป็นต้น ส่วนในฤดูร้อนและฤดูฝนจำเป็นต้องปลูกในภาคเหนือบนที่สูงจากระดับน้ำทะเล 800-1200 เมตร (สมพร ทรัพยสาร, 2534) ปัจจุบันสามารถปลูกแครอทได้ทุกฤดู แต่ในฤดูร้อนและฤดูหนาวจะมีผลผลิตต่อไร่สูง ในขณะที่ฤดูฝนมักจะประสบปัญหาโรคและแมลงทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ (อารมณ์ เทศแก้ว, 2535) กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณะสุข ได้แสดงคุณค่าทางอาหารของแครอทไว้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของแครอทต่อ 100 กรัม

Calories	38 unit
Moisture	89.7 %
Protein	1.6 g
Fat	0.4 g
Carbohydrate	6.8 g
Fiber	1.0 g
Ash	0.4 g
Calcium	1.0 mg
Phosphorus	68.0 mg
Iron [Fe]	1.2 mg
Vitamin A	161620 IU
Vitamin B1	0.04 mg
Vitamin B2	0.05 mg
Vitamin C	41.0 mg
Niacin	0.8 mg

ที่มา : ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทย กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, พฤศจิกายน 2527

<u>แคโรทีนอยด์</u> (Carotenoids)

แคโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุกลุ่มสำคัญพบในพืชทั่วไป ยีสต์ รา และแบคทีเรีย ให้สีแดง สีส้ม และสีเหลือง ละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไม่ละลายในน้ำ แตกต่างจากรงควัตถุพวก chlorophylls และ anthocyanins ตรงที่สัตว์สามารถสร้างรงควัตถุนี้ได้ เช่น นก ปลา กุ้ง เป็นต้น (Klaui and Bavern feind, 1981)

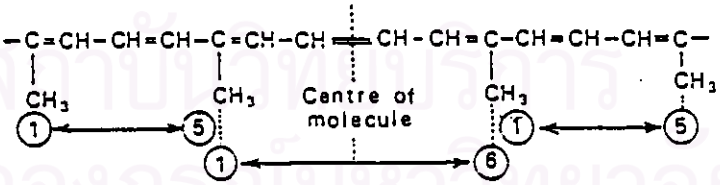
<u>โครงสร้าง</u> (Goodwin, 1984)

แคโรทีนอยด์ เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็น isoprenoid polymers ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันของหน่วยไอโซพรีน (Isoprene unit) (รูปที่ 2) จำนวน 8 หน่วย

$$CH_2 = \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}} - CH = CH_2$$

รูปที่ 2 ลักษณะหน่วย Isoprene 1 หน่วย

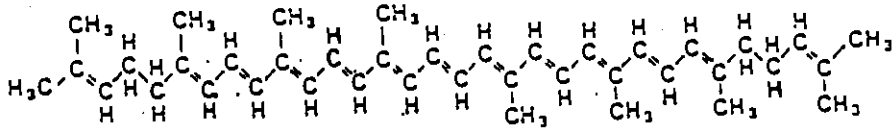
Isoprene unit จะถูกเชื่อมต่อกันระหว่างหัวโมเลกุลกับท้ายโมเลกุล ยกเว้นตำแหน่งกลางโมเลกุลที่จะเกิดการหมุนกลับเปลี่ยนเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างท้ายโมเลกุลกับท้ายโมเลกุล ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของแคโรทีนอยด์เกิดความสมมาตร ดังนั้นจะมีผลให้มีหมู่ methyl ที่ตำแหน่งคาร์บอน 1 , 6 ส่วนหมู่ methyl ที่ตำแหน่งอื่นจะถูกแบ่งโดยคาร์บอนอะตอมจำนวน 5 อะตอม ทำให้มีหมู่ methyl ที่ตำแหน่งคาร์บอน 1 , 5 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเชื่อมต่อกันของหน่วยไอโซพรีนและตำแหน่งของหมู่ methyl

สารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเกิดจากโครงสร้างของ acyclic $C_{40}H_{56}$ Conjugated polyenelycopene (รูปที่ 4) มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น hydrogenation , dehydrogenation cyclization , oxidation และ double bond migration เป็นต้น จึงทำให้ได้แคโรทีนอยด์ชนิด

ต่าง ๆ โดยสูตรโครงสร้างที่เป็น conjugated (C=C) double bond เป็นส่วนที่ให้สีของแคโรทีนอยด์ (Britton, 1985)



รูปที่ 4 โครงสร้าง acyclic $C_{40}H_{56}$ conjugated polyenelycopene

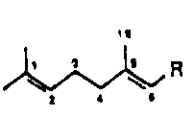
สามารถแบ่งแคโรทีนอยด์ตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 2 ชนิด (Klaui and Bavern feind, 1981)

1. Carotenoid Hydrocarbons ซึ่งรู้จักกันในชื่อ carotenes โครงสร้างจะประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น

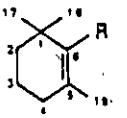
แคโรทีนแต่ละชนิดจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะเฉพาะของหมู่ end group ที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงสร้างหลัก จะเรียกชื่อโดยการเติมปัจจัย (prefix) ซึ่งเป็นอักษรกรีก 2 ตัวหน้าชื่อหลัก โดยปัจจัยเหล่านี้จะมีชื่อตามคาร์บอน 9 อะตอมจำนวน 2 ชุด ตรงตำแหน่งหัวและท้ายของโครงสร้างหลัก ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5 (Goodwin, 1984)

ตารางที่ 3 End group designation of carotene (Goodwin, 1984)

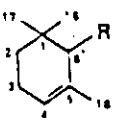
Type	Perfix	structure
Acyclic	[psi]	1.1
Cyclohexene	[beta, epsilon]	1.2 , 1.3
Methylenecyclohexane	[gamma]	1.4
Cyclopentens	[kappa]	1.5
Aryl	[phi,chi]	1.6 , 1.7



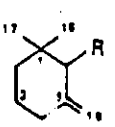
1.1



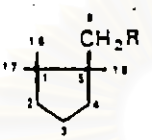
1.2



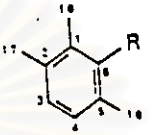
1.3



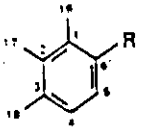
1.4



1.5

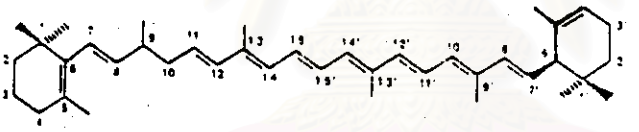


1.6

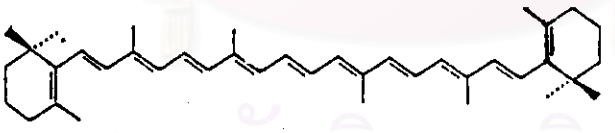


1.7

Lycopene (ψ,ψ - carotene)



α-carotene (β,ε - carotene)



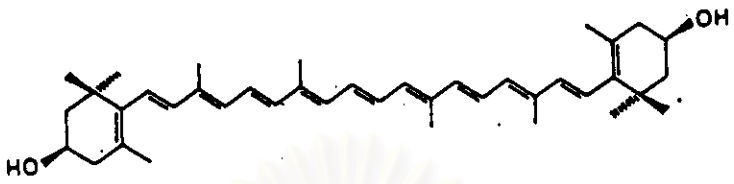
β -carotene (β,β - carotene)

รูปที่ 5 โครงสร้างของแคโรทีนบางชนิด

2. Oxygenated carotenoids ซึ่งรู้จักกันในชื่อ Xanthophylls โครงสร้างจะมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยนอกเหนือจากคาร์บอนและไฮโดรเจน (Klaui and Bavern feind, 1981)

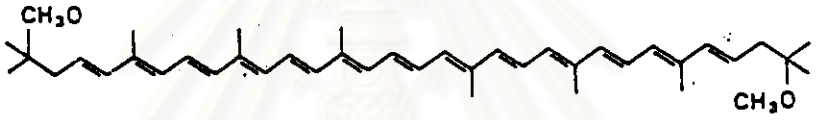
แคโรทีนอยด์ชนิดนี้มีชื่อเรียกต่างๆ กันตาม functional group ที่เกาะอยู่ที่ end groups ของโครงสร้างเช่น

1) กลุ่ม hydroxy เรียกแคโรทีนอยด์ชนิดนี้ว่า Zeaxanthin (รูปที่ 6)



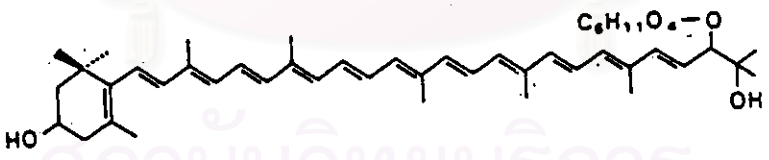
รูปที่ 6 โครงสร้างของ Zeaxanthin (β,β - carotene-3,3-diol)

2) กลุ่ม methoxy เรียกแคโรทีนอยด์ชนิดนี้ว่า Spirilloxanthin (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 โครงสร้างของ Spirilloxanthin

3) กลุ่ม glycosyloxy เช่น Myxoxanthophyll (รูปที่ 8) เป็นต้น (Goodwin, 1984)



รูปที่ 8 โครงสร้างของ Myxoxanthophyll

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>แหล่งที่พบ</u> (สุรศักดิ์ เสือส่วย, 1991)

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุสีเหลืองถึงสีแดงที่พบได้ในธรรมชาติ เช่นในผัก, ผลไม้, ดอกไม้ เห็ด และกุ้ง ฯลฯ แต่ในพืชอาจจะถูกคลอโรฟิลล์บดบัง

ลักษณะของแคโรทีนอยด์ที่พบในพืชและสัตว์มีหลายรูปแบบดังนี้

1. เป็นหยดไขมันเล็ก ๆ (fat droplet) อยู่ในเซลล์ของเนื้อเยื่อ เช่น ในแครอท

3. จับกับโปรตีนใน aqueous phase ทำให้ความสามารถในการละลายดีขึ้น เช่น ในผลไม้

4. เกิดเอสเทอร์กับกรดไขมัน เช่น ในผลไม้สุก

<u>หน้าที่ของแคโรทีนนอยด์</u> (Klaui and Bavern feind, 1981 ; Gross, 1991)

หน้าที่ของแคโรทีนอยด์ในพืชคาดคะเนว่ามี 2 อย่าง คือ Photosynthesis และ Antioxidant

1. หน้าที่เป็น Photofunctions

การที่มีการปรากฏของแคโรทีนอยด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงในรูปของ Chlorophyll - carotenoid - protien complexes ซึ่งอยู่ใน Photosynthetic membranes พบว่ามีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1.1 บทบาทของ carotenoid ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

ในการสังเคราะห์แสง chlorophyll จะมีบทบาทมากที่สุด แต่เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากแสงที่มากระทบให้มากที่สุด ในพืชจะมีรงควัตถุอื่นที่จะช่วยในการดูดซึมพลังงานจากช่วงความยาวคลื่นแสงอื่นๆ ที่ chlorophyll ไม่สามารถดูดซับได้และแคโรทีนอยด์ก็มีคุณสมบัติดังกล่าว ซึ่งหลังจากที่ดูดซับแสงแล้วแคโรทีนอยด์โดยเฉพาะเบตาแคโรทีน และ xanthophylls จะเป็นตัวขนย้ายพลังงานไปสู่โมเลกุลของ chlorophyll อีกทีหนึ่ง แต่กลไกในการขนส่งพลังงานของแคโรทีนอยด์ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่การขนส่งพลังงานจะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลทั้งคู่อยู่ใกล้กันใน pigment protein complexs

1.2 บทบาทของ carotenoid ในการเป็นสารป้องกันการทำลายเซลล์จากแสง (Protoprotection)

การทำลายเซลล์เกิดจากแสงในช่วง visible light โดยเมื่อ chlorophyll เกิดการสังเคราะห์แสง ปฏิกริยาการกระตุ้นขั้นแรกเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reactions) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radial) หรือพลังงานถูกส่งผ่านให้โมเลกุลออกซิเจนเกิด single oxygen ที่มีพลังงานสูง ซึ่งเป็นสารทำลายเซลล์ได้ แต่ในพืชหรือสิ่งมีชีวิตที่มี carotenoid จะสามารถป้องกันการทำลายเซลล์โดยการรับพลังงานที่เหลือจากการสังเคราะห์แสงของ chlorophyll ในระยะกระตุ้นหรือการเข้ารวมกับ singlet oxygen

2. หน้าที่เป็น Antioxidants

carotenoids สามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากปฏิกิริยา oxidation ได้ โดยการเข้ารวมตัวกับ free radical ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง ซึ่งการป้องกันนั้นจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นกับประสิทธิภาพในการรวมตัวกันระหว่าง carotenoid กับสารเหล่านี้

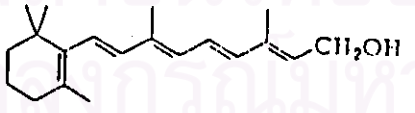
<u>หน้าที่ของเบตาแคโรทีนในร่างกาย</u>

เบตาแคโรทีนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วจะเข้าสู่กระแสเลือด และสะสมที่ไขมันและเนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ ได้แก่ ผิวหนัง เกล็ดเลือด เม็ดเลือดขาวและแดงตลอดจนในน้ำนม สำหรับส่วนที่เปลี่ยนเป็นวิตามินเอจะสะสมที่ตับและขับถ่ายออกทางน้ำดี (พงศธร สงษ์เผือก และเอมอร อุดมเกษมาลี, 2536)

หน้าที่หลักของเบตาแคโรทีน คือ เป็นสารตั้งต้นวิตามินเอ (provitamin A) และเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระ หรือที่เรียกว่า สาร antioxidant (Gross, 1991 ; Block and Langseth, 1994)

1. <u>การเป็นสารตั้งต้นของวิตามิน</u> (Provitamin A) (Gross, 1991)

วิตามินเอ เป็นสารประกอบ alcohol ที่ไม่อิ่มตัว มีชื่อว่า retinol (รูปที่ 9) ในธรรมชาติมีสีเหลืองอ่อน พบในอาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ เช่น นม เนย น้ำมันตับปลา และในพืชและผักผลไม้ที่มีสีเหลือง เช่น แครอท ฟักทอง ส้ม ซึ่งมีรงควัตถุแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุหลัก พบว่าแคโรทีนอยด์สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ เมื่อมีปฏิกริยาชีวเคมีในร่างกายสัตว์และมนุษย์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของแคโรทีนอยด์



รูปที่ 9 โครงสร้างของวิตามินเอ (retinol)

การสร้างวิตามินเอ จำเป็นต้องมี β - ring อย่างน้อยหนึ่งวง ดังนั้น β - carotene 1 โมเลกุล มี β - ring 2 วง จึงทำให้ vitamin A activity สูงสุดในกลุ่มสารประกอบแคโรทีนอยด์ โดย

1 β - carotene ⟶ 2 vitamin A

ส่วน α - carotene , γ - carotene , 5 , 6 - และ 5 , 8 monomer epoxides ของ β - carotene , cryptoxanthin และ monomer ของ cryptoxanthin รวมทั้ง β - apocarotenals มี β - ring 1 วง จึงให้ vitamin A 1 โมเลกุล

1 α - carotene . 1 vitamin A

ส่วน lycopene และ canthaxanthin ไม่มี provitamin A activity เลย เนื่องจากในโครงสร้างไม่มี β - ring นอกจากนี้พบว่าโครงสร้างแบบ trans - isomers จะมีศักยภาพให้วิตามินเอดีกว่าโครงสร้างแบบ cis - isomers ตารางที่ 4 แสดงระดับของ provitamin A activity ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4 ศักยภาพของสารแคโรทีนอยด์บางชนิดในการเป็นโปรวิตามินเอ (Gross, 1991)

Carotenoid	Activity (%)
all - trans-β - carotene	100
9 - cis-β - carotene	38
13 - cis - β - carotene	53
all - trans - α - carotene	53
9 - cis - α- carotene	13
13 - cis - α - carotene	16
all - trans - cryptoxanthin	57
9 - cis - cryptoxanthin	27
15 - cis - cryptoxanthin	42
β- carotene 5,6 - epoxide	12
β- carotene 5,8 - epoxide (mutatochrome)	50
γ - carotene	42-50

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Carotenoid	Activity (%)
β - Zeacarotene	20-40

จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของการเปลี่ยน β - carotene เป็นวิตามินเอโดยประมาณ คือ 6 ต่อ 1 หมายความว่าต้องอาศัยเบตาแคโรทีน 6 ไมโครกรัม เพื่อเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 1 ไมโครกรัม

ปัจจัยในการดูดซึม β - carotene (พงศธร สังข์เผือก และเอมอร อุดมเกษมาถี, 2536)

เบตาแคโรทีนจะถูกดูดซึมได้น้อยกว่าวิตามินเอ ซึ่งร่างกายดูดซึมได้มากกว่า 90% ของปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากอาหาร ส่วนเบตาแคโรทีนจะดูดซึมได้ดีที่สุด ประมาณร้อยละ 70 ยิ่งกินมากประสิทธิภาพของการดูดซึมจะลดลงมากตามส่วน พบว่าไขมันในอาหารเป็นพาหะที่ช่วยขนส่งวิตามินเอและเบตาแคโรทีนเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านเซลล์ของลำไส้เล็ก ปริมาณไขมันที่ร่างกายได้รับจากอาหารจึงมีความสำคัญ นอกจากนี้น้ำดีก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการช่วยละลายเบตาแคโรทีนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมให้ดียิ่งขึ้น การได้รับเบ้าแคโรทีนในปริมาณมากไม่ทำให้เกิดพิษเหมือนวิตามินเอ ดังนั้นสำนักงานอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาจึงจัดเบตาแคโรทีนในกลุ่มที่ปลอดภัย ถ้าบริโภคเบตาแคโรทีนวันละ 20-30 มิลลิกรัม จะทำให้ผิวหนังมีสีเหลืองและสีจะจางลงเป็นปกติถ้าหยุดบริโภค เบตาแคโรทีนสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ ตามปฏิกิริยาชีวเคมีในร่างกายของมนุษย์ดังแสดงในรูปที่ 10

β - carotene

↓

End - position oxidation

↓

β - Apo - 8' - carotenal

↓

β - Apo - 10' - carotenal

↓

β - Apo - 12' - carotenal

↓

β - Apo - 14' - carotenal

↓

Retinal

↓

Retinol

รูปที่ 10 กระบวนการทางชีวเคมีในการเปลี่ยน β - carotene เป็น vitamin A (Gross, 1991)

การรายงานปริมาณวิตามินเอสามารถแสดงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น retinol equivalent ซึ่งหมายถึง ค่าสมดุลของ retinol หรือค่าที่เทียบเท่ากับวิตามินเอ ค่าสมดุล retinol เท่ากับ 1 μg ของ retinol และถ้าเป็นหน่วย International Units (IU) จะเทียบได้เท่ากับ 0.3 μg ของ retinol

โดย retinol equivalent = 1 μg retinol

= 6 μg β- carotene

= 12 μg other provitamin A carotenoid

= 3.33 IU vitamin A activity from retinol

= 10 IU vitamin A activity from β- carotene

= 20 IU vitamin A activity from other provitamin A carotenoids

2. การเป็น Antioxidant (เอมอร อุดมเกษมาถี, 2536)

เบตาแคโรทีนทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant หรือสารยับยั้งอนุมูลอิสระ (free radical) โดยการเข้าไปจับกับอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการสลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่จะเกิดขึ้นได้ เช่นเดียวกับวิตามินอีและซี

อนุมูลอิสระ (free radical) หมายถึง โมเลกุลที่เกิดการสูญเสียอิเลคตรอน หรือรับอิเลคตรอนเพิ่มเข้ามา ทำให้อิเลคตรอนเป็นจำนวนเลขคี่ ซึ่งโดยโมเลกุลปกติจะมีอิเล็กตรอนรอบนอกเป็นจำนวนคู่ ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลนั้นไม่คงตัว มีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ และอยู่ได้อย่างอิสระ อนุมูลอิสระมีแหล่งที่มาทั้งภายนอกและภายในร่างกาย แหล่งจากภาย

นอก ได้แก่ มลพิษในอากาศ (โอโซน, ไนตรัสออกไซด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์, ฝุ่น) ควันบุหรี่ ผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหรือมีธาตุเหล็กในปริมาณสูงกว่าปกติ แสงแดด คลื่นความร้อน รังสีแกมม่า ยาบางชนิด เป็นต้น ส่วนแหล่งภายในร่างกาย ได้แก่ การเกิดเมตาบอลิซึมของออกซิเจนภายในเซลล์ซึ่ง 98% ของออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำในขณะที่ร้อยละ 2 จะอยู่ในรูปของอนุมูลอิสระ นอกจากนี้กระบวนการย่อยทำลายแบคทีเรียภายในเซลล์ของระบบภูมิป้องกัน, ไมเลกุลไขมันในร่างกายที่ได้รับออกซิเจนมากเกินไป และการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อทำให้เกิดอนุมูลอิสระภายในร่างกายทั้งสิ้น

อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับไมเลกุลอื่นๆ ได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น อนุมูลอิสระ 2 ตัว เกิดการรวมอิเล็คตรอนเดี่ยวของแต่ละอนุมูลเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นไมเลกุลที่คงตัวได้ ในขณะเดียวกันอนุมูลอิสระอาจทำปฏิกิริยากับอนุมูลหรือไมเลกุลที่คงตัว เช่น การส่งต่ออิเล็คตรอนเดี่ยวให้หรือรับอิเล็คตรอนเพิ่มเข้ามาหรือรวมตัวกัน ซึ่งไม่ว่าจะเป็นแบบใดก็ตาม ผลที่ได้รับคือ อนุมูลที่คงตัวจะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระและปฏิกิริยาดังกล่าวนี้มักจะเกิดต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยา oxidant โดยมากแล้วจะพบอนุมูลออกซิเจนอิสระเป็นส่วนใหญ่

ตัวอย่างของอนุมูลออกซิเจนอิสระได้แก่

$O_2^{\cdot-}$ Superoxide anion (อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์)

.OH Hydroxyl radical (อนุมูลไฮดรอกซิล)

ROO. Peroxy radical (อนุมูลเปอร์ออกซี่)

(. คือ สัญญลักษณ์ของอิเล็คตรอนเดี่ยว)

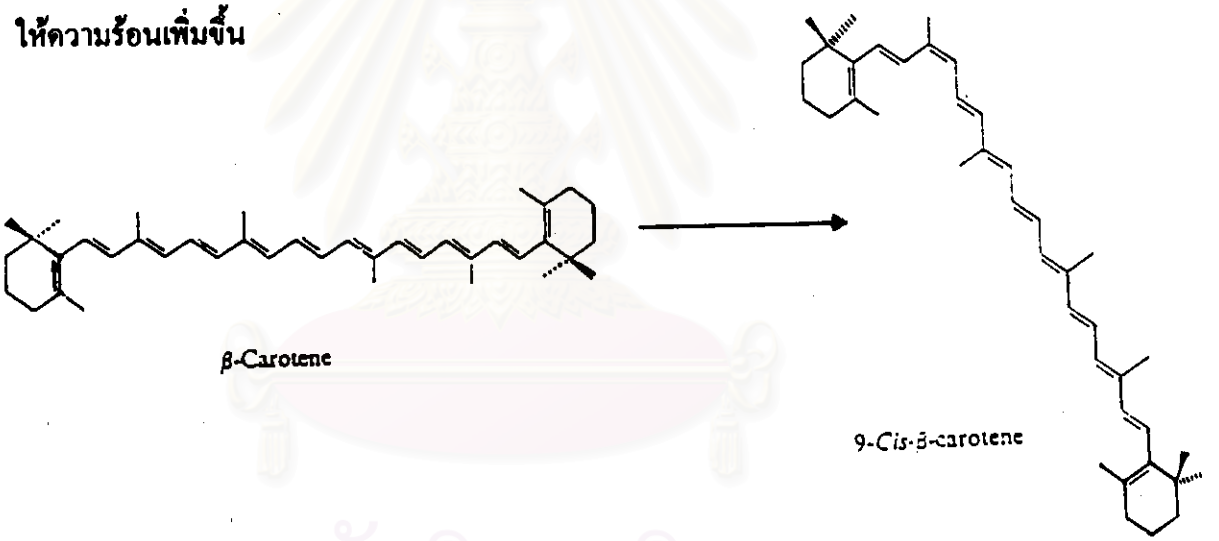
อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย เช่น DNA , กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ ไมเลกุลโปรตีน และคาร์โบไฮเดรท จนเกิดการทำลายเซลล์และการสะสมของเซลล์ที่ถูกทำลายอย่างต่อเนื่อง และนำไปสู่การเกิดโรคหัวใจ และหลอดเลือด (cardiovascular) โรคมะเร็ง (cancer) บางชนิด เช่น มะเร็งปอด กระเพาะอาหาร ลำไส้ใหญ่ โรคต้อกระจก (cataracts) ดังนั้นการได้รับ เบตาแคโรทีน วิตามินอี และซี จึงช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคเหล่านี้ (Block and Langseth, 1994)

ในปัจจุบันไม่มีการกำหนดความต้องการประจำวันของเบตาแคโรทีน มีเพียงคำแนะนำของสำนักงานอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาที่เสนอให้บริโภคเบตาแคโรทีนวันละ 5.2 มิลลิกรัม และสถาบันมะเร็งสหรัฐอเมริกาแนะนำให้บริโภคเบตาแคโรทีนวันละ 6 มิลลิกรัม

(พงศธร สงข์เผือก และเอมอร อุดมเกษมาลี, 2536) ส่วนวิตามินซี พบว่าองค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดให้บริโภควันละ 60 มิลลิกรัม แต่สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่กำหนดให้ได้รับวิตามินซี 150 มิลลิกรัมต่อวัน (Block and Langseth, 1994)

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์</u> (Klaui and Bavern feind, 1991 ; Gross, 1991)

1. ความร้อน ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีผลให้แคโรทีนอยด์เกิด thermal isomerization ทำให้แคโรทีนอยด์ในธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูป all trans - form เกิดการบิดตัว 180^0 เป็น cis - form (รูปที่ 11) ซึ่งจะเกิดการเสื่อมสภาพได้มากกว่าในรูป trans - form มีผลให้ดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า และมี molecular extinction coefficient ที่ต่ำกว่าทำให้สีอ่อนกว่า โดยจะเปลี่ยนสีจากสีส้มแดงเป็นสีเหลือง การเกิด isomerization ของ β - carotene และ α - carotene จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น



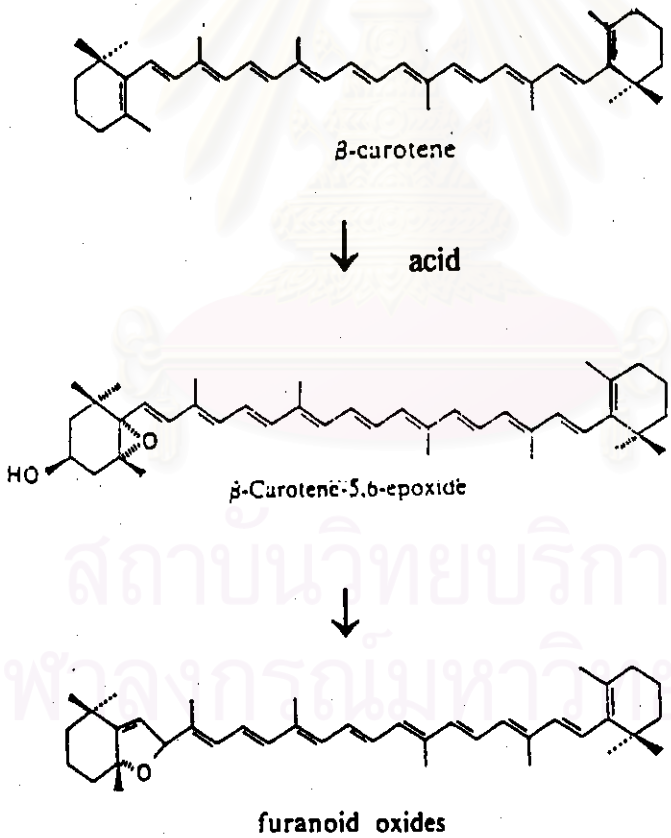
รูปที่ 11 การเปลี่ยนรูปของ β - carotene เนื่องจากความร้อน แสงและรังสี

Thermal isomerization คือ การเปลี่ยนแปลงอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตโดยที่อุณหภูมิสูงทำให้สีเกิดการสูญเสียไป โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนมีผลมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ดังนั้นในระหว่างกระบวนการผลิตไม่ควรใช้ความร้อนแบบ high temperature short time เบตาแคโรทีนจะมีจุดหลอมเหลวที่ 136 -140^{0}C (Josse, 1987) และที่อุณหภูมิสูงกว่า 190-200^{0}C จะทำ β- carotene เสื่อมสลายเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compound) เช่น β - ionone, dihydro actinidiolide และ 5 , 6 - epoxy - β -

ionone ปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของ β - carotene ในน้ำแครอทที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 104 - 132^{0}C เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order reaction) แครอทที่ผ่านการลวก (blanching) และต้ม (cooking) พบว่า β - carotene จะถูกทำลายด้วยความร้อนได้มากกว่า α - carotene ประมาณมากกว่า 1.9 เท่า (Baloch, Bockle and Edwards, 1977) และแครอทที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำจะสูญเสียแคโรทีนน้อยกว่าการทอดในน้ำมัน (Gross, 1984)

2. ความเป็นกรดด่าง (Goodwin, 1984)

ในสภาวะที่เป็นกรด β - carotene อาจเกิด epoxide isomerism ซึ่งเกิดจากการจับตัวของออกซิเจนตรงพันธะคู่ของส่วนที่เป็นวงแหวนในโครงสร้างเกิดเป็น β - carotene - 5 , 6 - epoxide และ furanoid oxides (5 , 8 - epoxide) ทำให้สีจางลง กลไกของปฏิกิริยาแสดงไว้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ปฏิกิริยาการเกิด Epoxide isomeism

แคโรทีนอยด์ส่วนมากจะเสถียรในสภาวะด่าง ยกเว้นแคโรทีนอยด์บางชนิด เช่น

1) astaxanthin ในสภาวะด่างจะถูก oxidize ในอากาศเป็น astacene

2) actinioerythrin เกิด autoxidized เป็นสารประกอบต่าง ๆ

3) peridin และfucoxanthin ไม่เสถียรต่อด่างภายใต้สภาวะไร้อากาศ (anaerobic condition)

3. การเสื่อมสลายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

3.1 ออกซิเจน

การที่แคโรทีนอยด์สัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation โดยจะทำให้คอนจูเกชั่น (conjugation) ของพันธะคู่จับตัวกับออกซิเจน ได้เป็นส่วนผสมสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide), สารประกอบคาร์บอนิล, สารประกอบ malodorous และสารที่ระเหยได้อื่นๆ ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสีและการเป็น provitamin A activity ปฏิกิริยานี้เป็น direct oxidation (Chou and Bree, 1972)

อัตราการสูญเสีย carotenoids เนื่องจากปฏิกิริยา oxidation ยังขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มของแสงและโลหะบางชนิด ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา oxidation จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างที่เป็น β - ring จะไวต่อการถูก oxidized ง่ายที่สุด ทำให้เมื่อเก็บแคโรทีนอยด์ในที่ที่มีออกซิเจนจะเกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็ว โดยที่ β - carotene จะสูญเสียเป็นตัวแรก ส่วน canthaxanthin จะไวต่อการเกิด oxidation น้อยที่สุด

การป้องกันทำได้โดยใช้วิธีการปิดภาชนะบรรจุซึ่งต้องคำนึงถึงช่องว่างข้างบน หรือส่วนที่มีก๊าซอยู่ให้มีปริมาณน้อยที่สุด คือ ให้มีออกซิเจนเหลือน้อยที่สุด การบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาวะสุญญากาศทำให้แคโรทีนอยด์มีความเสถียรดีที่สุด หรือใช้การรวมตัวระหว่างรงค์วัตถุเป็นน้ำมันจะเป็นตัวกั้นออกซิเจน ทำให้แคโรทีนอยด์มีเสถียรภาพที่ดีขึ้น หรืออาจใช้สารพวก antioxidant เช่น การเติมกรดแอสคอร์บิก ทำให้เกิดปฏิกิริยาช้าลง หรืออาจเติมสาร antioxidant ตัวอื่น เช่น BHT, BHA ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ (Gross, 1991 ; Klaui and Bavern feind, 1981)

3.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว

สีของ carotenoids ที่หายไปอาจเกิดจากปฏิกิริยา oxidation ของสารอื่นๆ ที่รวมอยู่ด้วย ได้แก่ กรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น linoleic acid สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้เอง (autoxidation) และจะทำให้ Carotenoid เกิด oxidation ตามไปด้วย ซึ่งเรียกว่า co-oxidation การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็น indirect oxidation การป้องกันสามารถทำได้โดยการใช้กรดไขมันชนิดอิ่มตัว หรือการผสม carotenoid กับน้ำมันที่ปราศจากอิออนของโลหะซึ่งจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การปนเปื้อนของโลหะ

อิออนของโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา oxidation ทำให้ carotenoid เสื่อมสภาพลง ถ้ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ด้วย เช่น โลหะทองแดงจะเร่งปฏิกิริยาทำให้ lycopene เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนเร็วขึ้น 3.5 เท่า

5. แสงสว่าง

แสงทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ทำให้สีและกลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป ถ้าไม่มีออกซิเจนจะเกิดการสูญเสียเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการสูญเสียจึงขึ้นอยู่กับออกซิเจนและแสงสว่าง การทิ้ง β - carotene ให้ถูกแสงนาน ๆ ทำให้เกิด cis - tran isomerism คล้ายกับที่เกิดจากความร้อน แคโรทีนอยด์ทุกตัวจะไวต่อแสง ดังนั้นการเก็บผลิตภัณฑ์ในกระป๋องจะดีกว่าการเก็บในขวด และในการสกัดสาร carotenoid จะต้องป้องกันไม่ให้ถูกความร้อนและแสงมากเกินไป

6. เอนไซม์

ในระดับเซลล์ carotenoid จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของ carotenoid กับโปรตีนที่มีเสถียรภาพที่ดี ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันสารในเนื้อเยื่อที่ยังไม่ถูกทำลายระหว่างการเก็บเกี่ยว ถ้าเนื้อเยื่อถูกทำลายจะมีการปล่อยเอนไซม์ออกมา ทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของการเสื่อมสภาพของ carotenoid โดยเอนไซม์ที่ทำให้ไขมันเกิด oxidation มีกลไกดังนี้

1. Peroxidase จะเปลี่ยน carotenoid ทั้งทางตรงและทางอ้อม

carotenoid -------- A --------> 5 , 6 - epoxide ------- B --------> furanoid oxides

A = peroxidase

B = plant acid

การเสื่อมสภาพโดยทางอ้อม คือ การเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน ทำให้ carotenoid เกิดการ oxidize ตามไปด้วย (Klaui and Bavern feind, 1981)

2. Lipoxidase จะผลิต free radical จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดปฏิกริยา oxidation เกิดกับ carotenoid ในขั้นแรกๆ

3. Lipoperoxide จะมีผลต่อการเสื่อมสลายของ carotenoid ก็ต่อเมื่อมีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย ซึ่งถูกสร้างโดย lipoxidase หรือการเกิด oxidation โดยตัวเอนไซม์เอง

ดังนั้นการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ชนิดนี้สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการทำลายสารแคโรทีนอยด์ (Park, 1987) โดยก่อนการลวก (blanching) การเปลี่ยนแปลงแคโรทีนอยด์เกิดจากเอนไซม์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงหลังจากนั้นไม่ได้เกิดจากเอนไซม์แต่จะเกิดจากความร้อนแทน

7. น้ำ

น้ำมีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ผักและผลไม้ที่ทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออกแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์และแบคทีเรียน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามการเอาน้ำออกจะทำให้ carotenoid สัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น การสูญเสีย carotenoid จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำเหลืออยู่น้อย เนื่องจากน้ำมีลักษณะเป็นฟิล์มล้อมรอบผลิตภัณฑ์ จึงสามารถป้องกัน carotenoid สัมผัสกับออกซิเจนได้ จึงมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยา oxidation จากผลการทดลองพบว่า แครอทที่ทำแห้งจนมีค่า water activity เท่ากับ 3 (Aw = 3) จะทำให้แคโรทีนอยด์มีเสถียรภาพมากที่สุด และเมื่อ carotenoid ถูกทำลายไป 20-45% จะทำให้เกิดสารประกอบพวก ionones ซึ่งทำให้เกิด off-flavor ในผลิตภัณฑ์ และ β - carotene ในแครอทที่ผ่านการทำแห้งจะมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติม sulphur dioxide (SO_2) ประมาณ 2000 ppm (Gross, 1991)

<u>เส้นใยอาหาร</u> (dietary fiber)(Prosky and deVries, 1991 ; ศศิธร พรหมเมตจิต และคณะ, 2534)

เส้นใยอาหาร (dietary fiber) คือ ส่วนประกอบของพืชที่น้ำย่อยในร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ แต่จุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่ย่อยสลายส่วนประกอบบางส่วนของเส้นใยอาหารได้ สามารถแบ่งเส้นใยอาหารตามสมบัติการละลายน้ำได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่ละลายน้ำได้ (soluble fiber) ได้แก่ เพคติน กัม และ mucilage ซึ่งย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์โดยแบคทีเรียในลำไส้ เส้นใยเหล่านี้ดูดซับ (absorb) น้ำได้ดี และเกิดลักษณะเหนียวข้นที่เรียกว่า เจล (gel) ประโยชน์ของเส้นใยอาหารกลุ่มนี้ พบว่าสามารถลดระดับโคเลสเตอรอล (cholesteral) ในหลอดเลือดได้ โดยเส้นใยอาหารกลุ่มนี้สามารถจับกับกรดน้ำดีได้และยังสามารถป้องกันการดูดซึมกลับของกรดน้ำดี ทำให้น้ำดีที่หลั่งออกมาแล้วไม่มีโอกาสที่จะถูกดูดซึมกลับไปยังถุงน้ำน้ำดีได้อีก ร่างกายจึงต้องสร้างน้ำดีขึ้นชดเชย โดยสร้างจากโคเลสเตอรอลซึ่งการหมุนเวียนการสร้าง และใช้โคเลสเตอรอลนี้จะทำให้ปริมาณโคเลสเตอรอลในเส้นเลือดลดลงจากคุณสมบัตินี้เอง จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์สำหรับป้องกันและบำบัดโรคต่างๆ เช่น ภาวะ

ไขมันในเลือดสูง (hyperipidemia) ภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (Atheiosclerosis) โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด เป็นต้น

2. กลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แบคทีเรียในลำไส้สามารถย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้บางส่วน แต่ลิกนินทนต่อการย่อยสลาย เส้นใยกลุ่มนี้จะเพิ่มปริมาณกากในลำไส้ใหญ่ และช่วยลดอาการท้องผูก

น้ำผัก (Vegetable juice)

น้ำผัก (vegetable juice) ชนิดต่างๆ จะเป็นของเหลวผสมที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous mixtures) ประกอบด้วยส่วนของ serum phase และ dispersed phase ในส่วนของ serum phase มีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรท (carbohydrate) กรด (acid) โปรตีนที่ละลายได้ (Soluble proteins) และ amino acid ในขณะที่ dispersed phase ประกอบด้วยส่วนของผนังเซลล์ (cell wall fragment) และ cell aggregates (Balestrieri et al., 1991) ปัจจุบันน้ำผักเป็นเครื่องดื่มอีกประเภทหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถใช้ดื่มได้ในเด็กทารกหรือผู้บริโภคที่ต้องการดื่มเพื่อสุขภาพ เพราะมีปริมาณเกลือแร่ที่จำเป็น เช่น แคลเซี่ยม และเหล็กตลอดจนโปรตีนก็เป็นโปรตีนที่ย่อยสลายง่าย เครื่องดื่มน้ำผักจึงมีแนวโน้มการบริโภคมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยนับว่าเป็นเครื่องดื่มที่มีความสำคัญเป็นอันดับรองจากเครื่องดื่มน้ำผลไม้ (ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2535)

เครื่องดื่มประเภทน้ำผักสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ตามวิธีในการเตรียมไว้ดังนี้ (Tressler and Joslyn, 1961)

1. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากผักที่มีความเป็นกรดต่ำ และไม่มีการปรับความเป็นกรดหรือการใช้ความร้อนแก่น้ำผักสำหรับจำหน่ายในร้านอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น น้ำแครอท (carrot juice), น้ำคื่นฉ่าย (celery juice), spinach juice, beet juice และ asparagus juice เป็นต้น

2. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากผักที่มีความเป็นกรด เช่น มะเขือเทศ และ โกฏน้ำเต้า (rhubarb) เป็นต้น

3. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากการผสมกับเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำซิตรัส (citrus juice), น้ำสับปะรด , น้ำมะเขือเทศ, น้ำผักกาดดอง และน้ำจากโกฏน้ำเต้า เป็นต้น

4. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากการปรับความเป็นกรดด้วยการเติมกรดอินทรีย์บางชนิดลงไป เช่น phosphoric acid และ citric acid เป็นต้น

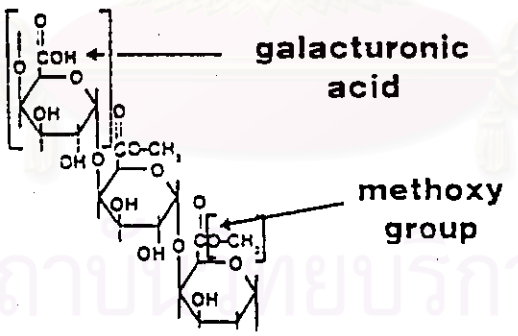
5. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากน้ำคั้นของผักต่าง ๆ ปกติจะนำมากรองและผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เช่น sauerkraut juice

การเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำผักประเภทที่มีความเป็นกรดหรือมีการเติมกรดอาจทำได้โดยการผ่านความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดหรือใกล้จุดเดือด

<u>สารเพคติน (pectin) ในน้ำผักผลไม้</u>

เพคติน (pectin) เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์และเป็นสารที่อยู่ระหว่างเซลล์ (middle lamella) ในพืชชั้นสูง โดยเฉพาะในส่วนของผล นอกจากนั้นจะพบเพคตินในน้ำที่สกัดจากพืช (Rombouts and Pilink, 1979) ในเนื้อเยื่อของพืช และในผลไม้ที่ยังไม่แก่จัด (immature fruit) สารเพคตินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำ ระหว่างการสุกของผลไม้ insoluble protopectin จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป soluble pectin โดยเอนไซม์ protopectinase ที่อยู่ในผลไม้ ทำให้ผลไม้นุ่มขึ้น (Glicksman, 1969)

สารเพคตินเป็นสารประกอบพวก heteropolysaccharide โครงสร้างประกอบด้วย D-galacturonic acid ที่ต่อกันด้วยพันธะ - 1,4 โดยบางส่วนของกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) ของ polygalacturonic acid ถูก esterified ด้วยหมู่ methyl (รูปที่ 13)



รูปที่ 13 โครงสร้างของสายเพคติน

การวัดการถูก esterified ของ galacturonic acid อาจแสดงได้ด้วยค่า degree of esterification (DE) ซึ่งหมายถึง เปอร์เซนต์ของ carboxyl groups ที่ถูก esterified ต่อจำนวนโมเลกุล galacturonic acid ทั้งหมด (Doesburg, 1965)

น้ำผักผลไม้ทุกชนิดประกอบด้วยสารเพคติน (pectin) การรวมตัวกันเกิดเป็น colloidal matrix ของเพคตินที่ละลายได้ เป็นรูปแบบที่สำคัญในการที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์

ในน้ำผลไม้ ทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า คลาวด์ (cloud) ซึ่งหมายถึง การแพร่กระจายของอนุภาค (cell particle) ที่มีอยู่ในน้ำผลไม้อย่างสม่ำเสมอ โดยปราศจากการแยกชั้น (Baker and Bruemmer, 1972) ลักษณะคลาวด์เป็นลักษณะปรากฏที่สำคัญของน้ำผลไม้จากพืชตระกูลส้ม โดยเฉพาะน้ำส้ม ลักษณะคลาวด์ในน้ำส้มเกิดจากการแขวนลอยของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในผลส้ม คือ ส่วนของผนังเซลล์ (cell wall fragment) ,อนุภาคไขมัน (oil droplet) , โครแมทโทฟอร์ (chromatophore) และผลึกเฮสเพอริดิน (hesperidin crystal) อนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำส้มได้ ซึ่งโดยเฉลี่ยมีขนาด 0.05-100 ไมโครเมตร เรียกส่วนนี้ว่า cloud และเรียกส่วนของเหลวใสในน้ำส้มว่า serum (Crandal, Mathews and Baker, 1983) สารเพคตินที่ละลายได้ในน้ำผักผลไม้เหล่านี้เป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยรักษาความคงตัวของลักษณะขุ่น (cloud stability) และน้ำผัก เช่น น้ำแครอทก็ต้องการลักษณะเช่นนี้ (Sim, Balaban and Mathews , 1993) แต่ปัญหาของการผลิตน้ำผักผลไม้ที่ต้องการลักษณะคลาวด์ คือ การสูญเสียความคงตัว (cloud stability) ซึ่งมีผลต่อการสูญเสียลักษณะปรากฏ สี กลิ่นและความคงตัวของน้ำผักผลไม้ ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (Baker and Bruemmer, 1972) และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียความหนืด (consistency) ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของน้ำผักด้วย (Laratta et al., 1994)

<u>สาเหตุของการสูญเสียลักษณะความคงตัวของความขุ่น (Cloud stability) ในน้ำผักผลไม้</u>

อนุภาค (cell particle) ที่แขวนลอยในน้ำผักผลไม้ที่สกัดได้ใหม่ๆ จะคงตัวไม่ตกตะกอน ทำให้ได้ลักษณะคลาวด์ซึ่งจะไม่เสถียร เนื่องจากอนุภาคที่แขวนลอยเกิดการแยกชั้นและตกตะกอน ทำให้เกิดการสูญเสียความคงตัวของความขุ่น (cloud stability) ในน้ำผักผลไม้ เช่น น้ำส้ม น้ำแครอท และน้ำมะเขือเทศ เป็นต้น

การสูญเสีย cloud stability มีสาเหตุสำคัญเนื่องจากเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (pectines sterase (PE)) ซึ่งเป็นเพคติคเอนไซม์ (pectic enzyme) ชนิดหนึ่ง อยู่ในกลุ่มเอนไซม์สปอนิฟาย (Saponifying enzyme) มีชื่อเรียกต่างกัน เช่น เพคตินเมธิลเอสเทอเรส (pectinmethylesterase) เพคตินเมธอกซิลเลส (pectinmethoxylase) และเพคตินดีเมธอกซิลเลส (pectindemethoxylase) เป็นต้น พบทั่วไปในส่วนราก, ลำต้น , ใบ และผล ของพืชชั้นสูง และสามารถผลิตได้โดยเชื้อราบางชนิด ในพืชชั้นสูงจะพบ PE ในส่วนของเซลล์ที่ไม่ละลายน้ำ และในส่วนของน้ำที่สกัดได้จากพืช แต่จะพบน้อยกว่าในส่วนเนื้อเยื่อ PE ที่พบในพืชชั้นสูงจะมี optimum pH ในช่วง 7 - 8 ในขณะที่

PE จากเชื้อรามี optimum pH ประมาณ 4-5 ตารางที่ 5 แสดง Activity ของ PE ในพืชชนิดต่างๆ กัน (Kertesz, 1951)

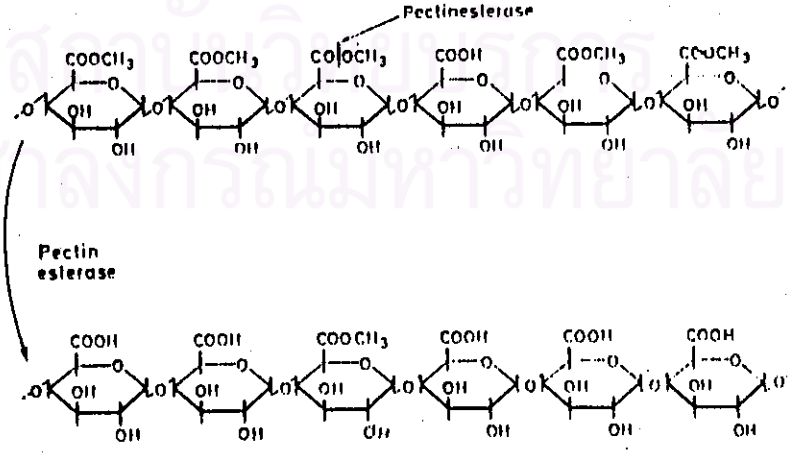
ตารางที่ 5 เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (pectinesterase enzyme) ในพืชบางชนิด (Kertesz, 1951)

plant	remarks
Alfa (Medicago sativa L.)	High activity
Seaked parsley (chareophyllum sylvestre L)	„
Black currants (Rubus nigrum L.)	„
Carrot roots (Daucus carota L.)	„
Castor beans (Ricinus communis L.)	In a lipase preparation
Cherries (Prunus cerasus)	„
Citrus fruit : grapfruit (Citrus maxima , especially Mer.) lemon (C. limonum Risso), and in flavedo and albedo	High activity, especially in flavedo and albedo
and in flavedo and oranges (C. aurantium L. and C. sinensis L. and C. albedo Osbeck)	„
Brumstick (Moringa oleifera) leaves	„
Sider (Sambucus nigra) leaves	„
Rexplant (Solanum melongea L.) fruit	„
Gooseberries (Ribes grossularia L.)	„
Nightshade (Solanum dulcamara L.) leaves	„
Potato (Solanum tuberosum L.) leaves	„
Red currants (Ribes grossularia L.)	„
Potato (Nicotiana tabacum L.)	High activity even leaves and stems after curing and drying

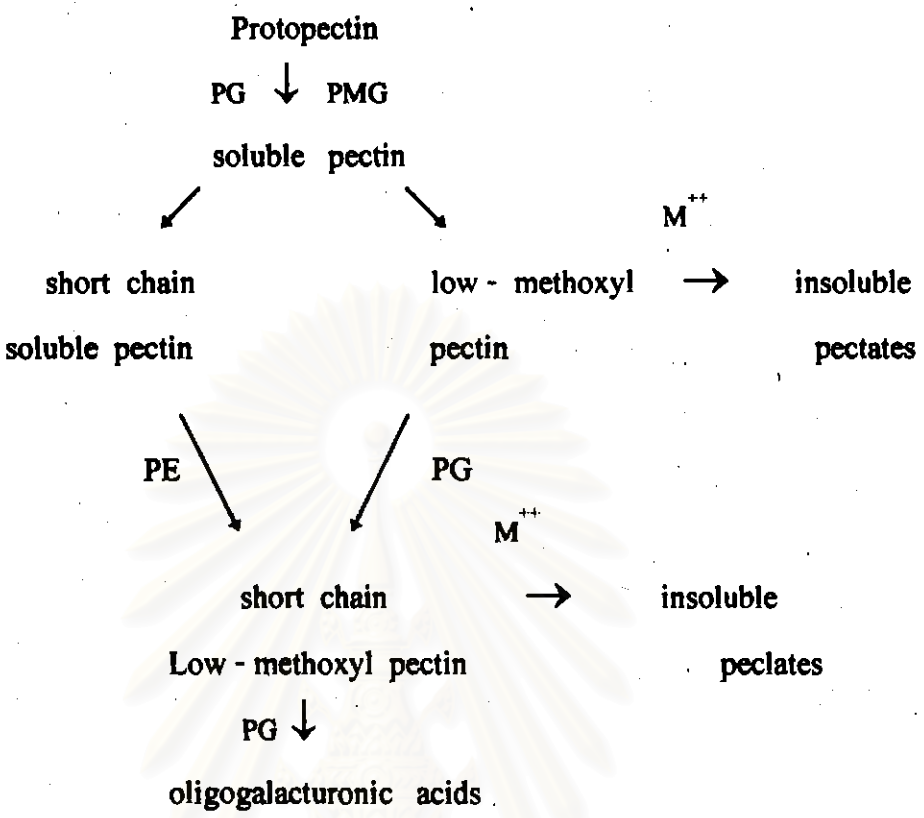
ตารางที่ 5 (ต่อ)

plant	remarks
Tomatoes (Lycopersicum esculentum L.)	High activity in both fruit and leaves
White clover (Trifolium repens L.)	High activity

กลไกการทำงานของ PE คือการไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) กลุ่มเมธิล (CH3) ที่ esterified อยู่กับกลุ่มคาร์บอกซิลของ galacturonic acid ในโมเลกุลที่ถัดจากโมเลกุล galacturonic acid ที่มีคาร์บอกซิลอิสระในสายเพคติน (รูปที่ 14 และ 15) เกิดกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระและกลุ่มเมธานอล ทำให้ได้โมเลกุลเพคตินชนิด low methoxyl pectin หรือ demethylated pectin หรือที่เรียกว่า pectic acid ได้ pectin ที่มีค่า DE ลดลง มีผลทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับ divalent cation ได้ดี เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{++}) ที่มีในน้ำผักผลไม้ เกิดเป็นแคลเซียมเพคเตทที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble pactates) (รูปที่ 16) และตกตะกอนอย่างรวดเร็ว (Doesburg, 1965 ; Kertesz , 1951 ; Kimball, 1991) และในการตกตะกอนของสารเพคเตทที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble pactates) นี้ จะไปดึงอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ให้ตกตะกอนลงมาด้วย เกิดการสูญเสีย cloud stability และกลิ่นรสของน้ำผักหรือผลไม้ชนิดนั้น (Baker and Bruemmer, 1972) รวมทั้งทำให้แคโรทีนตกตะกอนรวมกับอนุภาคเหล่านี้ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพด้านสีในน้ำแครอทด้วย (Sim et al, 1993)



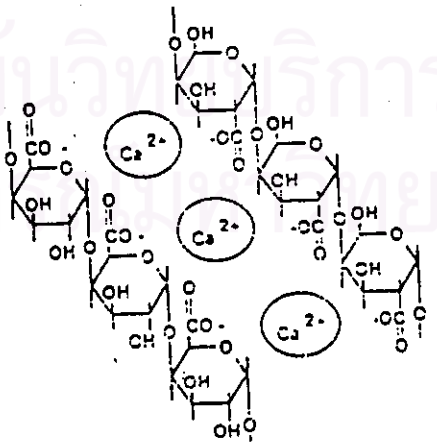
รูปที่ 14 การทำงานของเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (pectinesterase enzyme) (Pilinik and Rombouts, 1979)



PG หมายถึง Polygalacturonase enzyme

PMG หมายถึง Polymethylgalacturonase enzyme

รูปที่ 15 Pathways ของเพคติคเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ในการทำลาย (breakdown) โครงสร้างของเพคติน (pectin) (Baker and Bruemmer, 1972)



รูปที่ 16 โครงสร้างของแคลเซียมเพคเตทซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกริยาของเอนไซม์ PE (Kimball, 1991)

นอกจากนี้สารพวกเพคเตทที่ไม่ละลายน้ำนี้จะทำให้เกิดเจล (gelification) ในน้ำผักผลไม้ที่ผ่านการทำให้เข้มข้น (concentration) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์ (Balestrieri et al., 1991) การวัด activity ของเอนไซม์ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดปริมาณคาร์บอกซิลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยการไตเตรต (titration) กับสารละลายด่างมาตรฐานหรือวัดการลดลงของ pH หรือวัดปริมาณเมธานอลที่เกิดขึ้นด้วยวิธี Gas Liquid Chromatography (GLC) (Pilnik and Rombout, 1979) โดยในงานวิจัยนี้จะวัด activity ของเอนไซม์ชนิดนี้ โดยวัดการลดลงของ pH ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

<u>การรักษาความคงตัวของความขุ่น (cloud stability) ในน้ำผักผลไม้</u>

สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะความขุ่นที่คงตัว (cloud stability) ในน้ำผักผลไม้ คือ เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส โดยเอนไซม์ชนิดนี้จะมีความเข้มข้นมากที่สุดบริเวณผิวของผักผลไม้ และสามารถทนความร้อนได้สูง (Doesburg, 1965) ดังนั้นวิธีแก้ปัญหาคือ การทำลายหรือยับยั้งเอนไซม์ PE หรือการป้องกันไม่ให้เกิดแคลเซี่ยมเพคเตทขึ้น สามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. การใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนในการยับยั้งเอนไซม์ PE เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้รักษาความคงตัวของความขุ่น (cloud stability) ของน้ำผักผลไม้ชนิดต่างๆ และความร้อนที่ใช้ยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ในน้ำผักผลไม้เหล่านี้ด้วย โดยพบว่า PE สามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั่วไปที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย (ordinary microbial flora) ในน้ำผักผลไม้ (Balestrieri et al., 1991) ตารางที่ 6 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการยับยั้งเอนไซม์ PE ของพืชตระกูลส้มในการผลิตน้ำผลไม้จากพืชตระกูลส้ม

ตารางที่ 6 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้สำหรับการรักษา cloud stability ในน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่ pH ระดับ ต่าง ๆ (Doseburg, 1965)

พีเอช (pH)	น้ำผลไม้	อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (holding time)
3.8	น้ำส้ม	89	2 นาที
		94	15 วินาที

ตารางที่ 6 (ต่อ)

พีเอช(pH)	น้ำผลไม้	อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (holding time)
3.3	น้ำส้ม	85	2 นาที
		90	15 วินาที
3.2	น้ำเกร็ปฟรุ๊ต	84	2 นาที
		89	15 วินาที
2.4	น้ำเสมอน	69	2 นาที
		74	15 วินาที

Rothschild และคณะ (1975) พบว่าสำหรับน้ำส้มที่มีความเป็นกรดสูงหรือมี pH ต่ำ การยับยั้งเอนไซม์ PE สามารถทำได้โดยใช้อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ให้ความร้อนต่ำกว่าในน้ำส้มที่มี pH สูง และเมื่อใช้ระยะเวลาให้ความร้อนนานขึ้น จะสามารถใช้อุณหภูมิที่ต่ำลงในการยับยั้งเอนไซม์ PE นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำส้มที่มีปริมาณเอนไซม์ PE แตกต่างกัน ไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่ต้องการในการยับยั้งเอนไซม์ PE โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรด์น้ำส้ม คืออุณหภูมิ 88-93^{0}C เป็นเวลา 40 วินาที ทำให้มีผลต่อการยังยั้งเอนไซม์ PE สูงสุด และมีผลต่อกลิ่นรสตามธรรมชาติของน้ำส้มน้อยที่สุด

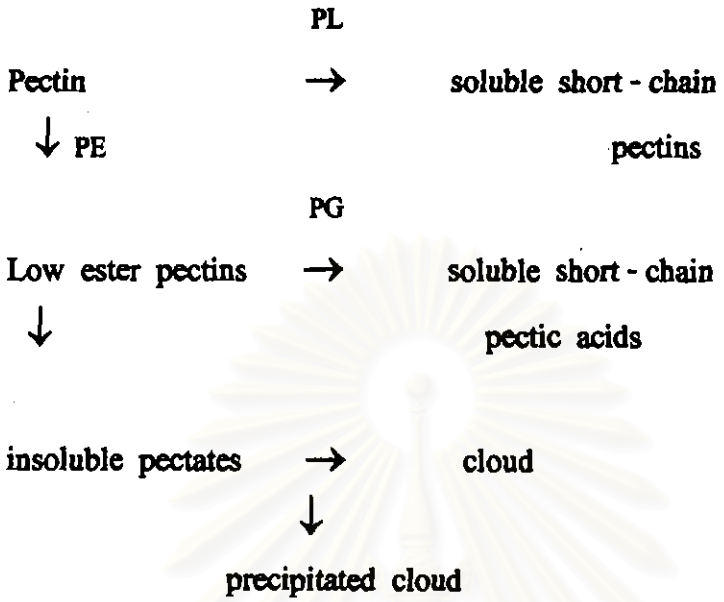
ส่วนการผลิตน้ำแครอท การยังยั้งหรือทำลายเอนไซม์ PE อาจใช้ความร้อนในการลวกแครอท (blanching) จนทำให้ภายในแครอทมีอุณหภูมิ 93^{0}C ก่อนการสกัดน้ำแครอท (Sim et al., 1993) หรือที่อุณหภูมิน้ำลวก 100^{0}C นาน 4 นาที (Bourne, 1987) และการทำลายเอนไซม์ PE ในแครอทด้วย ความร้อนนี้ยังสามารถทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ในน้ำแครอทได้ด้วย (Munch, Simard and Girard, 1986) นอกจากนี้การทำลาย PE ด้วยความร้อนยังสามารถป้องกันการสะสมของสาร 8 - hydroxy - 3 - methyl - 6 - methoxy - 3 , 4 - dihydroisocoumarin หรือเรียกว่า Isocoumarin ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดรสขม (bitterness) ที่พบในแครอทได้ด้วย (Howard, Griffin and Lee, 1994) แต่การใช้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นและรสชาติได้ โดยเฉพาะจะทำให้เกิดกลิ่น cooked flavor ซึ่งเกิดจากสารประกอบ 2 - nonenal ในแครอทด้วย (Simon, 1985)

นอกจากนี้เอนไซม์ PE ยังถูกยับยั้งการทำงานได้ที่อุณหภูมิ -20^{0}C ในน้ำผลไม้เข้มข้นแช่แข็ง (Versteeg et al., 1980), ที่ pH ต่ำๆ , ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง และการใช้สารเคมีบางชนิด เช่น formaldehyde, iodine , iodoacetic acid และ polyphenol แต่จะเกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Pilnik and Rombouts, 1979)

2. การใช้เอนไซม์ (enzyme treatment)

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลาวด์ (cloud) ในน้ำผักผลไม้ ได้แก่ กลุ่มของเอนไซม์เพคติเนส 3 ชนิด คือ pectinlyase (PL) , pectinesterase (PE) และ polygalacturonase (PG) โดยที่ เอนไซม์ PL จะเร่งปฏิกิริยาการตัดพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ในโมเลกุลของเพคติน ทำให้ได้เพคติน สายสั้นๆ ที่ละลายน้ำได้ (soluble short - chain pectin) ส่วนเอนไซม์ PE จะเร่งปฏิกิริยาการ hydrolyze หมู่ methyl ออกจากโมเลกุลของเพคติน ทำให้เกิดกรดเพคติค (pectic acid) ขึ้น หรือ low ester pectin และเอนไซม์ PG จะเร่งปฏิกริยาการย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกในโมเลกุลของกรดเพคติค ได้เป็นกรดเพคติคสายสั้นๆ ที่ละลายน้ำได้ (soluble short - chain pectic acid) และหรือกรดโอลิโกกาแลคทูโรนิค (oligogalacturonic acid) การทำงานของเอนไซม์ PL และ PG จะได้เพคตินและกรดเพคติคที่ละลายน้ำได้ ทำให้สามารถรักษาความคงตัวของลักษณะคลาวด์ไว้ได้ กลไกของเอนไซม์ทั้ง 3 แสดงในรูป 17

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ ในการรักษาความคงตัวของลักษณะขุ่น (cloud stability) เช่น การเติมสารพวก chelating agent เช่น แอมโมเนียมออกซาเลต (ammonium oxalate) หรือโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate) เพื่อกำจัด divalent cation โดยเฉพาะแคลเซียมไอออนที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมเพคเตทได้ และจะทำให้สูญเสียลักษณะคลาวด์ (Balestrieri et al., 1991) แต่สารที่มีคุณสมบัติในการกำจัดไอออนดังกล่าวไม่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Crandall et al., 1983)



PG หมายถึง Polygalacturonase enzyme

PL หมายถึง Pectinlyase enzyme

รูปที่ 17 แผนภาพสรุปเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะคลาวด์ (cloud) โดยเอนไซม์เพคติเนส (Crandall et al., 1983)

Balestrieri และคณะ (1991) ได้ทดลองใช้ตัวยับยั้งเอนไซม์ PE (PE inhibitor, PEI) ที่สกัดได้จากผลกีวี (Kiwi fruit) เพื่อรักษาความคงตัวของลักษณะขุ่นในน้ำส้ม และสามารถประยุกต์ใช้ในน้ำผักชนิดต่างๆ PEI เป็นสารประกอบพวก Proteic substance ประกอบด้วย Single polysaccharide chain มีน้ำหนักโมเลกุล 28,000 ดาลตัน (daltons) และมี isoelectric point ที่ pH ต่ำกว่า 3.5 จากการทดลองพบว่าสามารถป้องกันการสูญเสียลักษณะคลาวด์ในน้ำส้มได้ดีเทียบเท่ากับการพาสเจอไรซ์ โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะคลาวด์ในน้ำส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5^{0}C$ เป็นเวลา 240 วัน และยังพบว่าน้ำส้มที่มีการเติม PEI ยังสามารถใช้อุณหภูมิต่ำในการพาสเจอไรซ์ เป็นผลให้มีกลิ่นรสของน้ำส้มดี เนื่องจากใช้ความร้อนน้อยลง

Baker และBreummer (1973) ได้ศึกษาการรักษาลักษณะ cloud stability ในน้ำผักผลไม้บางชนิด โดยการเติมเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส (polygalacturonase) และเอนไซม์

โปรติเอส (protease) ซึ่งเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนสจะไฮโดรไลซ์ demethylated pectin ที่เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ PE ทำให้ไม่สามารถรวมตัวกับแคลเซียมอิออน (calcium ion) ซึ่งจะป้องกันการเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมเพคเตทได้ และการเติมเอนไซม์โปรติเอสจะช่วยให้เอนไซม์โพลีกาแลกทูโรเนสทำงานได้ดีขึ้น

3.การเติมสารที่ทำให้เกิดความคงตัวของลักษณะขุ่น (cloud stability)ในน้ำผักผลไม้ เช่น สารพวก gum และสารเพคตินชนิดต่างๆ เป็นต้น ยังเป็นวิธีหนึ่งในการรักษาความคงตัวของน้ำผักผลไม้ได้ (Crandall et al., 1983)

<u>การผลิตน้ำแครอท</u>

ก่อนการสกัดน้ำแครอทจะต้องมีการคัดเลือกแครอทที่เหมาะสม ทำความสะอาดและตัดแต่งส่วนที่ไม่ดีออก ปอกเปลือก ทำการตีป่นหรือบด สกัดน้ำแครอทและกรอง Lachele (1938) ได้รายงานการทำน้ำแครอทกระป๋อง โดยใช้เครื่อง schwarz comminution machine บดแครอทสด นำน้ำแครอทที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 82.2^{0}C และผ่านเครื่อง communution machine เพื่อให้น้ำแครอทผสมเป็นเนื้อเดียวกันและป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนขึ้นเมื่อน้ำแครอทผ่านการฆ่าเชื้ออีกครั้ง (Stephen, saldana , Brown and Griffiths, 1971)

Tressler และ Joslyn (1961) ได้รายงานวิธีในการทำน้ำแครอท โดยการนำแครอทสดต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 93^{0}C นาน 5 นาที บดโดยใช้ hammer mill และแยกเอาน้ำแครอทออก นำมาเติมกรดมะนาวให้ได้ pH 4.3 และ 5.28 พบว่าน้ำแครอทที่ได้ทั้งสองตัวอย่างมีรสหวานและกลิ่นแครอทที่ดี

Stephens และคณะ (1971) ได้ศึกษาการทำน้ำแครอทกระป๋อง โดยสกัดน้ำแครอทจากแครอทสด, แครอทที่ผ่านการต้มในกรดอะซิติกเข้มข้น 0.05 N นาน 1, 5 , 15 และ 25 นาที และแครอทที่ผ่านการต้มในน้ำนาน 1, 3 , 5 และ 15 นาที การสกัดน้ำแครอทใช้วิธีการบดแครอทในparmer rack และกดผ่านผ้ากรองด้วยเครื่อง hydraulic press เพิ่มความดันของเครื่องอย่างช้าๆ จนถึงความดัน 6,000 psig และคงความดันนี้ไว้ 15 นาที นำน้ำแครอทที่สกัดได้มาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อและบรรจุกระป๋อง และผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ พบว่าน้ำแครอทกระป๋องที่ได้จากการต้มแครอทในกรดอะซิติกก่อนการสกัดไม่เกิดการตกตะกอน และที่เวลาต้มนาน 5 นาที มีความสว่างของสีส้มและมีกลิ่นแครอทดีกว่าการต้มที่เวลาอื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้การลวกแครอทในสารละลายกรดเพื่อให้น้ำแครอทที่สกัดได้ไม่ตกตะกอน นอกจากนี้ Stephens และ

คณะ(1974) ได้รายงานว่าน้ำแครอทที่ได้จากแครอทที่ต้มในกรดอะซิติก 0.05 N นาน 5 นาที ก่อนการสกัด มีปริมาณ % juice yield และปริมาณแคโรทีนสูงกว่าน้ำแครอทที่ได้จากแครอทที่ผ่านขั้นตอนการบด , ปรับความเป็นกรดด้วยกรดอะซิติก , ให้ความร้อนและสกัด

Stephen , Saldana และLime (1971) ได้รายงานว่าการปรับ pH ของน้ำแครอทด้วยการเติมสารละลาย NaOH 10 N ในน้ำแครอทที่สกัดได้จากแครอทที่ต้มในสารละลายกรดอะซิติก 0.05 N นาน 5 นาที ให้ได้ pH เท่ากับ pH ของน้ำแครอทที่ได้จากแครอทที่ต้มในน้ำ พบว่าน้ำแครอทที่ได้ไม่ตกตะกอน มีกลิ่นแครอทที่ดี และมีความหวานมากกว่าน้ำแครอทที่ได้จากแครอทที่ต้มในกรดอะซิติกและที่ต้มในน้ำ และการเติม NaOH จะทำให้เกิดเกลือขึ้น มีผลให้ผู้บริโภคชอบรสชาตินำแครอทที่มีการเติมสารละลาย NaOH มากกว่า แต่องค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA) ไม่แนะนำให้ใช้ NaOH และ Acetic acid ในน้ำแครอท

Deelen (1987) ได้ทดลองทำน้ำแครอท 2 วิธี I) น้ำแครอทหมักด้วยกรดแลคติก (lactic acid) II) น้ำแครอทผ่านการ treat ด้วยเอนไซม์เพคติเนสและหมักด้วยกรดแลคติก พบว่าคุณภาพด้านสี, ปริมาณเบตาแคโรทีน, ปริมานของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด,ความหนืดของน้ำแครอทที่ได้จากวิธี II ดีกว่า I แต่คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำแครอทที่ได้จากวิธีที่ I ดีกว่าวิธีที่ II

Munch และคณะ (1986) รายงานการใช้เอนไซม์เพคติเนส (pectinase) ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0-1 g / kg (45^{0}C, pH 6.0) ในการสกัดน้ำแครอทจะทำให้เพิ่ม yield และสีของน้ำแครอทดีที่สุดเมื่อใช้เอนไซม์ 0.1 g / kg และการใช้เอนไซม์ยังช่วยเพิ่มแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำแครอทด้วย เช่น K , Na , P , S , An ,Mn , และ N ขณะที่ Ca และ Co ลดลง

Schmitt (1988) ได้ศึกษาการใช้เอนไซม์ในการผลิตน้ำแครอทและน้ำผักอื่นๆ เช่น celery , redpeper เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนในการต้ม(cooking) เป็นเวลานาน และยังให้ % juice yield มากกว่า 80 % โดยการนำ sliced carrots เติมเอนไซม์ Rohament P เพื่อย่อย insoluble protopectin เป็น soluble pectin ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็น puree หลังจากนั้นนำมาทำให้มีความหนืดต่ำด้วยการเติมเอนไซม์ Rohament P และ Rohament PC ซึ่งมีเอนไซม์ cellulase เป็นส่วนผสม โดยทำหน้าที่ย่อยเฉพาะผนังเซลล์แต่ไม่ย่อยสลายสารเพคติน ซึ่งสารเพคตินมีความสำคัญต่อลักษณะ cloud stability ส่วนองค์ประกอบพวก cellulose fiber จะถูกกำจัดออกโดยเอนไซม์ Rohament K ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีส่วนผสมของเอนไซม์ pectintraseliminase ทำหน้าที่ตัดสายเพคติน แต่ไม่เกิดกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการตกตะกอนของน้ำผัก และเอนไซม์ hemicellulase จะย่อย cellulose fiber น้ำแครอทที่ได้จะมีอนุภาคที่ละเอียดของ

เบตาแคโรทีนกระจายอยู่ มีความเข้มข้นของสีและความคงตัวที่ดี แต่จะมีความหนืดต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ

Sim และคณะ(1993) ได้ศึกษาผลกระทบของลำดับการใช้ความร้อน, acidification และ enzyme treatment ในขั้นตอนการสกัดน้ำแครอทที่มีผลต่อสีและลักษณะ cloud stability ของน้ำแครอท พบว่าสีและลักษณะ cloud stability ของน้ำแครอทจะดีที่สุดเมื่อมีลำดับขั้นตอนการผลิตน้ำแครอทดังนี้ คือ ให้ความร้อนแครอทด้วยไอน้ำจนอุณหภูมิภายในถึง 93^{0}C บด ปรับความเป็นกรด (acidification) ถึง pH 4 หรือ 5 ด้วยสารละลายกรดซิตริก 50% , เติมเอนไซม์ผสมของ pectinases และ hemicellulases และสกัด แต่การให้ความร้อนแครอท ก่อนบดจะมี % juice yield น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแครอทที่บดก่อนการให้ความร้อน ส่วนการใช้เอนไซม์จะช่วยในการสกัดสีของน้ำแครอท แต่ไม่มีผลต่อ % juice yield ของน้ำแครอท

<u>การทำน้ำผลไม้เข้มข้น</u>

เนื่องจากการทำเข้มข้นน้ำแครอทยังไม่มีงานวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงอาศัยหลักการในการทำน้ำผลไม้เข้มข้นที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป โดยการนำน้ำผลไม้แท้ไประเหยน้ำออกบางส่วน จนมีความเข้มข้นขึ้นอย่างน้อยสองเท่า เมื่อจะดื่มต้องมีการเจือจางด้วยน้ำก่อน สามารถจำแนกวิธีในการทำน้ำผลไม้เข้มข้นตามวิธีการกำจัดน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ กระบวนการซึ่งมีการเปลี่ยนสถานะและกระบวนที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำผลไม้ กระบวนการที่เกิดการเปลี่ยนสถานะของน้ำได้แก่ การระเหยด้วยความร้อน (vaporation) และการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง (freeze concentration) ส่วนกระบวนการที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ได้แก่ การออสโมซิสทั้งแบบโดยตรงและผันกลับ (osmosis and reverse osmosis) (Deshpande et al., 1984)

<u>การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยด้วยความร้อน (evaporation)</u>

เป็นการกำจัดน้ำออกโดยเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอ มีหลักการคือ ไอน้ำที่มีความดันสูงจะผ่านเข้าเครื่องระเหย และมีการปรับระดับความเป็นสุญญากาศภายในเครื่องระเหย เมื่อเกิดสุญญากาศที่ต้องการจึงผ่านน้ำผักผลไม้เข้าไปในเครื่องระเหย การระเหยน้ำออกจึงเริ่มขึ้น ไอน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยก็จะถูกแยกออกไป และอาจจะมีการทำให้กลั่นตัวโดยผ่านไปยัง condensor ซึ่งมีน้ำเย็นหล่ออยู่โดยไอน้ำที่ควบแน่นจะต้องมีอุณหภูมิแตกต่างจากน้ำหล่อเย็นมากพอ และยังทำให้ไอน้ำระเหยเข้มข้นโดยนำไปกลั่นอีกครั้ง หรืออาจนำไปทำให้เข้มข้นขึ้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง ไอระเหยที่เก็บได้นี้อาจนำกลับมาเติมให้น้ำผลไม้เข้มข้นที่ได้ หรืออาจจะนำไปใช้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17413734

เป็นสารให้กลิ่นรสในอุตสาหกรรมอย่างอื่นต่อไปก็ได้ (Bolin and Salunkhe, 1971)ในการทำเข้มข้นโดยวิธีนี้ ถ้าทำให้เข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าหรือมากกว่า อัตราการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยออกไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอน้ำที่ถูกกำจัดออกไป (Thizssen, 1970) Bolin และ Salunkhe (1971) ยังพบว่าไอน้ำที่ระเหยไป 10 % แรก จะมีส่วนประกอบของสารระเหยซึ่งให้กลิ่นรสเป็นส่วนใหญ่ การนำเอาสารละลายที่แยกได้จากไอน้ำที่ระเหยออกไปนี้กลับมาเติมในผลิตภัณฑ์เข้มข้นสุดท้าย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสตามธรรมชาติดีขึ้น อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปเพื่อคงไว้ซึ่งกลิ่นรสของน้ำผลไม้ตามธรรมชาติ คือ การเติมน้ำผลไม้สดลงไปภายหลัง แต่วิธีนี้ปริมาณของเอนไซม์ที่มีอยู่ในน้ำผลไม้สดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Nelson and Tressler, 1986) ข้อเสียของการทำเข้มข้นด้วยวิธีนี้ คือ ความร้อนจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียของสารระเหยให้กลิ่นรส วิตามิน และสารอาหารที่สำคัญบางอย่าง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี แต่วิธีนี้ได้รับความนิยมและนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากผลทางเศรษฐกิจ ค่าใช้จ่ายในด้านการติดตั้งเครื่องมือและการดำเนินการต่ำ ดูแลรักษาง่าย และระเหยจนถึงความเข้มข้นสูงระดับใดก็ได้ตามความต้องการของผู้ผลิต (Muller, 1967 : Karel, 1975) การปรับปรุงการออกแบบเครื่องมือระเหยช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น เช่น การใช้เครื่องระเหยแบบ falling film ทำให้เพิ่มอัตราการแยกไอน้ำออกไปและลดปริมาณการเกาะของน้ำผลไม้ในส่วนที่ให้ความร้อนมากๆ ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศในการทำน้ำแตรอทเข้มข้น

นอกจากนี้ Ramteke , Singh และRekha (1993) ได้รายงานการทำน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีลักษณะคลาวด์ โดยใช้ centrifugal evaporator หรือ agitated thin film evaporator เพื่อลดการถูกทำลายของสารอินทรีย์ต่างๆ ด้วยความร้อนของน้ำผลไม้ที่มีลักษณะคลาวด์ เนื่องจากการระเหยน้ำด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้น้ำผลไม้มีความหนืดลดลง จึงมีผลให้ระเหยน้ำจนถึงความเข้มข้นที่ต้องการได้เร็วขึ้น

<u>การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เย็น (freeze concentration)</u>

การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เย็น คือ การทำให้น้ำในน้ำผลไม้กลายเป็นน้ำแข็งบางส่วน และแยกผลึกน้ำแข็งบริสุทธิ์นั้นออกไปด้วยเครื่องเหวี่ยงหรือเครื่องกรอง การทำให้เข้มข้นโดยวิธีนี้ยังคงไว้ซึ่งองค์ประกอบ ในด้านกลิ่น รส เกือบทุกอย่างของน้ำผลไม้สด ทั้งนี้เนื่องจากไม่ได้ใช้ความร้อน จึงทำให้การระเหยของสารให้กลิ่นรส การเปลี่ยนแปลงสีและการสูญเสียคุณค่าทางอาหารเกิดขึ้นได้น้อยมาก (Karel, 1975) แต่วิธีนี้จะต้องใช้พลังงานค่อนข้างสูงในการเปลี่ยนสถานะของ

น้ำและอุปกรณ์เครื่องมือก็มีราคาค่อนข้างแพง และวิธีนี้สามารถทำให้เข้มข้นได้สูงสุดประมาณ 50-55 บริกซ์ เท่านั้น และที่สำคัญก็คือ จะมีการสูญเสียของแข็งในน้ำผักผลไม้โดยจะเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งได้มาก (Muller , 1967) อย่างไรก็ตามปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการแยกเอาวัตถุที่ไม่ละลายน้ำนี้ออกจากน้ำแข็งที่ละลายแล้ว เพื่อนำมาเติมกลับลงในส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำเข้มข้นแล้ว จากผลงานวิจัยพบว่าวิธีที่ดีที่สุด คือ ทำการแยกส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำผลไม้ก่อนนำน้ำผลไม้นั้นไปทำเข้มข้น แล้วจึงเติมส่วนที่ไม่ละลายน้ำลงไปในน้ำผลไม้เข้มข้นภายหลัง และการแยกส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกก่อน ทำให้ความหนืดของน้ำผลไม้ลดลง จึงมีผลให้การระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้ได้เร็วขึ้น (Deshpande et al., 1984)

<u>การทำให้เข้มข้นโดยการออสโมซิสและออสโมซิสผันกลับ (Osmosis and Reverse osmosis)</u>

ออสโมซิสเป็นระบวนการที่น้ำจากสารละลายที่เจือจางกว่าไหลผ่านเยื่อกรอง (semipermeable membrane) ไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จนความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองเท่ากัน แต่หากมีการใช้ความดันในด้านของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าอาจทำให้น้ำไหลในทิศทางตรงกันข้ามผ่านเยื่อกรองประเภทเซลลูโลสอะซิเดท (cellulose acetate) ซึ่งเป็นวิธี reverse osmosis ส่วน โปรตีน น้ำตาล ไม่สามารถไหลผ่านไปได้ วิธีนี้ทำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำและยังเป็นวิธีที่ง่าย ใช้พลังงานน้อย น้ำผลไม้เข้มข้นที่ได้มีกลิ่นครบถ้วน (Morgan et al,. 1965 ; Matsura, Baxter and Sourirajan, 1974) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก นอกจากอุปกรณ์และเครื่องมือจะมีราคาแพงแล้ว ยังมีปัญหาการอุดตันของเยื่องกรอง และความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถทำได้จะประมาณ 28 บริกซ์เท่านั้น (Madsen, 1974) นอกจากนี้หากเลือกเยื่อกรองไม่เหมาะสม สารให้กลิ่นรสต่างๆ ก็อาจผ่านเยื่อกรองออกไปได้เช่นกัน (Karel, 1975)

Thijssen (1970) ; Bolin และ Salunkhe (1971) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการทำน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีต่างๆ น้ำผลไม้เข้มข้นจากวิธีแช่เข็งการสูญเสียสารระเหยให้กลิ่นรสต่ำสุดและวิธีระเหยภายใต้สุญญากาศจะสูญเสียสารระเหยให้กลิ่นรสและส่วนประกอบอื่นๆสูงสุด แต่เมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของน้ำผลไม้ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อผ่านการทำให้เข้มข้นโดยวิธีต่างๆ กัน ดังนั้นวิธีการในการทำเข้มข้นไม่มีผลต่อผู้บริโภค สิ่งสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกวิธีการในการทำเข้มข้น คือ ความสะดวกในการดำเนินงานและผลทางเศรษฐกิจ