

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟักทอง

ฟักทอง (pumpkin หรือ cushaw (วิทช์, 2539)) เป็นพืชผักที่นิยมบริโภคผล และใช้สำหรับปรุงสุกเป็นอาหารคาวและหวานหลายชนิด โดยปกติแล้วฟักทองมักจะมีสีส้มเมื่อผลสุก (บางครั้งก็มีสีขาว แดง เทา) ฟักทองเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของอเมริกา (สุรชัย, 2535) จัดอยู่ในตระกูล Cucurbitaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucurbita* sp. (Robinson, 1997) ในประเทศไทย ฟักทองเป็นผักที่ปลูกง่าย อายุสั้น ให้น้ำหนักผลผลิตต่อพื้นที่สูง เจริญได้ดีในดินร่วนปนทราย ต้องการแสงแดดตลอดวัน ให้ผลผลิตสูงในฤดูหนาว คือ 1,600 – 1,920 กิโลกรัม/ไร่ ในฤดูร้อน และฤดูฝน ให้ผลผลิต 800 – 1,280 กิโลกรัม/ไร่ (โครงการหลวง, 2533)

เมล็ดฟักทอง สามารถนำมาคั่วและรับประทานเป็นขนมขบเคี้ยวได้ เช่นเดียวกับเมล็ดทานตะวัน เมล็ดฟักทองสามารถเตรียมได้โดยแยกจากเนื้อฟักทองสด จากนั้นนำมาคลุกเคล้าด้วยเครื่องปรุง โดยปกติแล้วจะเป็นแบบเค็ม และนำมาจัดเรียงในถาดเพื่อทำการอบที่อุณหภูมิต่ำแต่ใช้ระยะเวลาในการอบนาน เมล็ดฟักทองยังเป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหาร สังกะสี เหล็ก กรดไขมันที่จำเป็น โปแตสเซียม และ แมกนีเซียม ทานโดยกำจัดเปลือกสีขาวออก จะพบเมล็ดสีเขียวที่ทานได้ ซึ่งเรียกทั่วไปว่า pepita ในอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ อีกทั้งประเทศออสเตรเลียยังนำมาผลิตน้ำมันเมล็ดฟักทองขายอีกด้วย

ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์

1. มีฤทธิ์ขับพยาธิ

เมื่อกำจัดน้ำมันจากเมล็ดฟักทองด้วยปิโตรเลียมเบนซิน โดยนำกากที่เหลือมาสกัดด้วยแอลกอฮอล์ร้อยละ 75 นำสารสกัดมาเจือจางด้วยน้ำแล้วกรอง พบว่าสารสกัดที่กรองได้สามารถฆ่าพยาธิได้ภายใน 8 นาที (Neely, 1931)

2. สารสำคัญในการออกฤทธิ์ขับพยาธิ

เชื่อว่าฤทธิ์ในการขับพยาธิมาจากสาร lectin (Aien, 1979) ต่อมา มีรายงานว่า Cucurbitine (3-Amino-3 carboxylprolidnine) มีฤทธิ์ขับพยาธิ (Blagrove *et al.*, 1981)

คุณค่าทางโภชนาการ

ผลฟักทองที่มีสีเข้มมาก ยิ่งอุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญมากๆ จำพวก antioxidant เบต้า-แคโรทีน ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ที่ให้สีเหลือง-ส้ม ซึ่งในทางอุตสาหกรรมอาหารนำไปใช้ให้สีในเนยเหลว มาคารีน เนยแข็ง ไขมันอาหาร ข้าวโพดอบ ฯลฯ (บุษบา, 2540) และทั้งสารเบต้า-แคโรทีนที่ดูดซึมในร่างกายคนเรา สามารถนำสารเบต้า-แคโรทีนไปสร้างเป็นวิตามินเอ ที่สำคัญยังพบว่า สารเบต้า-แคโรทีนมีความสัมพันธ์กับการลดลงของโอกาสการเกิดมะเร็งในมนุษย์ และได้รับการพิสูจน์ว่าปราศจากสารที่เป็นโทษต่อสุขภาพ ผลฟักทองที่มีคุณภาพดีต้องมีขนาดเล็ก เนื้อแน่น ถ้าต้องการรับประทานฟักทองรสเข้มข้น เนื้อกระชับเป็นพิเศษก็ให้วางผลฟักทองทิ้งไว้สักหลายๆ วัน น้ำที่ระเหยออกไปจากผลจะช่วยให้น้ำเนื้อฟักทองมีรสจัดขึ้น และสารเบต้า-แคโรทีนก็เข้มข้นมากขึ้นด้วย (นิรนาม, 2542) ทั้งโซเดียม และโคเลสเตอรอล หากบริโภคทั้งเปลือกจะได้ฤทธิ์ทางยา คือ สามารถกระตุ้นการหลั่งของอินซูลิน ซึ่งช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน โรคความดันโลหิต บำรุงตับ ไต สายตา และช่วยควบคุมสมดุลของร่างกาย โดยช่วยสร้างเซลล์ใหม่ทดแทนเซลล์ที่ตายไปให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ (นิรนาม, 2542) จากการวิจัยในปัจจุบันบ่งชี้ได้ว่าสารเบต้า-แคโรทีน สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและป้องกันการเกิดโรคหัวใจ รวมทั้งเชื่อว่าช่วยลดริ้วรอยจากอายุ อีกด้วย

ตาราง 2.1 คุณค่าอาหารส่วนที่รับประทานได้ของฟักทอง 116 กรัม

Nutrient	Units	1 cup, (1" cubes) or 116.000 g
Proximate		
Water	g	106.256
Energy	kcal	30.160
Energy	kJ	126.440
Protein	g	1.160
Total lipid (fat)	g	0.116
Carbohydrate, by difference	g	7.540
Fiber, total dietary	g	0.580
Ash	g	0.928
Minerals		
Calcium, Ca	mg	24.360
Iron, Fe	mg	0.928

ตาราง 2.1 (ต่อ)

Vitamins	Units	1 cup, (1" cubes) or 116.000 g
Magnesium, Mg	mg	13.920
Phosphorus, P	mg	51.040
Potassium, K	mg	394.400
Sodium, Na	mg	1.160
Zinc, Zn	mg	0.371
Copper, Cu	mg	0.147
Manganese, Mn	mg	0.145
Selenium, Se	mcg	0.348
Vitamin C, ascorbic acid	mg	10.440
Thiamin	mg	0.058
Riboflavin	mg	0.128
Niacin	mg	0.696
Pantothenic acid	mg	0.346
Vitamin B-6	mg	0.071
Folate	mcg	18.792
Vitamin B-12	mcg	0.000
Vitamin A, IU	IU	1856.000
Vitamin A, RE	mcg_RE	185.600
Vitamin E	mg_ATE	1.230

(ที่มา: Hall, 1998)

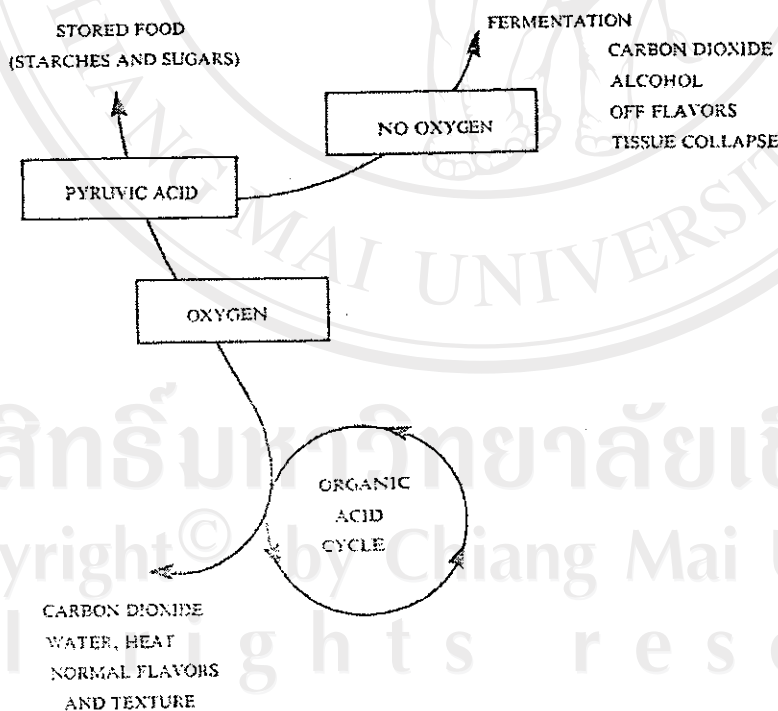
สาเหตุของการสูญเสียสารอาหารระหว่างการแปรรูป

ในกระบวนการแปรรูปอาหาร หน่วยหรือขบวนการที่ไม่ใช้ความร้อน จะมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเพียงเล็กน้อย เช่น การผสม (mixing) การคัดเลือก (sorting) และการพาสเจอร์ไรเซชัน (pasteurization) หากหน่วยปฏิบัติการใดมีการแยกส่วนของอาหารจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น เช่น สารอาหารที่ละลายได้ดีในน้ำ (แร่ธาตุ วิตามินที่ละลายน้ำ และน้ำตาล) (นิธิยา, 2543)

การสูญเสียวิตามินสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ โดยส่วนใหญ่มาจากการเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดสารใหม่ที่ไม่มีความค่าทางชีวภาพ หรืออาจสูญเสียเนื่องจากการชะล้าง โดยเฉพาะวิตามินกลุ่มที่ละลายได้ในน้ำจะสูญเสียได้ง่ายในขั้นตอนการล้าง การลวก และการหุงต้ม (นิธิยา, 2539)

ปัจจัยทางชีววิทยาที่มีผลต่อการนำเสียของผลิตภัณฑ์

1. การหายใจ (Respiration) การหายใจ หมายถึง ขบวนการทาง Metabolism ที่ผลิตผลนำเอาอาหาร (สารอินทรีย์จำพวก แป้ง น้ำตาล ไขมัน โปรตีน) ที่สะสมไว้ตั้งแต่ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมาแตกตัวเป็นสารที่มีองค์ประกอบไม่ซับซ้อน พร้อมทั้งให้พลังงานออกมา พลังงานนี้เองที่ผลิตผลจะใช้ออกซิเจนในกระบวนการดังกล่าวนี้ และในขณะเดียวกันก็จะสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น (Aerobic respiration) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อผลิตผลอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนไม่เพียงพอจะส่งผลให้เกิดขบวนการ Anaerobic respiration หรือ Fermentation ขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิดการสร้างแอลกอฮอล์ขึ้นภายในผลิตผล ซึ่งจะทำให้เซลล์ถูกทำลายและรสชาติผลิตผลเปลี่ยนไป (รูป 2.1)



รูป 2.1 รูปแบบของการหายใจผลิตผลผักและผลไม้สด

(ที่มา : Mitchell, 1972)

2. การผลิตก๊าซเอทิลีน (Ethylene production) เอทิลีนถือว่าเป็นฮอร์โมนธรรมชาติที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายอย่างในผลิตผล เช่น ทำให้เกิดการแก่ (aging) การสุก (ripening) และ/หรือ การแยกตัว (abscission) ของอวัยวะของพืช

3. การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในผลิตผล (Compositional change) การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีบางชนิดสามารถทราบด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงของสี ซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือการน้มน้ำของผลิตผล ซึ่งสามารถทราบจากการใช้มือกดหรือบีบ แต่การเปลี่ยนแปลงบางชนิดเป็นการเปลี่ยนแปลงของคุณค่าทางโภชนาการ

3.1 การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ (pigment) ต่างๆ เช่น

- การสูญเสียคลอโรฟิลล์ (สีเขียว) มักเป็นที่ต้องการในผลไม้ แต่ไม่ต้องการในผัก
- การพัฒนาของ Carotenoid (สีเหลืองและสีส้ม) เป็นที่ต้องการในผัก และผลไม้หลายชนิด เช่น พืช, แอปริคอต, ส้มและมะเขือเทศ นอกจากนี้ เบต้า-แคโรทีน ยังเป็น โปรวิตามินเอ ซึ่งมีความสำคัญทางโภชนาการอีกด้วย

- การพัฒนาของแอนโทไซยานิน (สีแดงและสีน้ำเงิน) เป็นที่ต้องการในผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล (พันธุ์ที่มีสีแดง), เชอร์รี่, สตรอเบอรี่ และลิ้นจี่ เป็นต้น รงควัตถุชนิดนี้สามารถละลายได้ในน้ำได้ และไม่คั่งอยู่ตัวนักเมื่อเปรียบเทียบกับพวกแคโรทีนอยด์

3.2 การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรต เช่น

- การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ต้องการในผลไม้แทบทุกชนิด แต่ไม่เป็นที่ต้องการในมันฝรั่ง หรือมันเทศ เป็นต้น

- การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้ง ไม่เป็นที่ต้องการในพวกข้าวโพดอ่อนและพวกถั่วต่างๆ

- การสลายตัวของสารประกอบเพคติน และสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) อื่นๆ จะทำให้ผลไม้มีเนื้อนุ่มเป็นสาเหตุให้เกิดการชอกช้ำเสียหายได้ง่าย อีกทั้งยังเพิ่มความอ่อนแอที่มีต่อเชื้อจุลินทรีย์ด้วย

- การเพิ่มปริมาณลิกนิน ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อ มักไม่เป็นผลดีในผลิตผลจำพวกหน่อไม้ฝรั่ง และพวกพืชหัวต่าง

3.3 การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ (organic acid)

โดยทั่วไปแล้วซึ่งมีผลในเรื่องรสชาติของผลิตผล เช่น ความเปรี้ยว และแหล่งอาหารสำรองที่จะใช้ในขบวนการหายใจ ดังนั้นปริมาณกรดอินทรีย์ภายในผลิตผลจะลดลงเมื่อผลแก่มาก

ขึ้นหรือสูงมากขึ้น ยกเว้นในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น กล้วย และ สับปะรด ซึ่งมีปริมาณกรดอินทรีย์สูงสุด ในขณะที่ผลอยู่ในระยะสุกเต็มที่

3.4 การสูญเสียวิตามิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินซี มักเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์จำพวกผัก ทำให้เกิดการสูญเสียทางคุณค่าโภชนาการ

3.5 นอกจากองค์ประกอบทางเคมีที่กล่าวมาแล้ว การเปลี่ยนแปลงของไขมัน โปรตีน และการเกิดขึ้นของสารหอมระเหยบางชนิดภายในผลิตภัณฑ์ยังมีอิทธิพลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์

4. การเจริญเติบโตและการพัฒนาการต่างๆ ภายหลังจากเก็บเกี่ยว

4.1 การงอกยอดหรือรากของมันฝรั่ง หอมหัวใหญ่ กระเทียม และพืชหัวอื่นๆ มีผลทำให้คุณค่าในการใช้ประโยชน์ลดลงและเน่าเสียเร็วขึ้น

4.2 การตอบสนองต่อแรงดึงดูดของโรค (geotropic response) ผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น หน่อไม้ฝรั่ง และไม้ตัดดอก บางชนิด เช่น gladiolus, snapdragon เมื่อวางนอนในแนวราบจะมีการเจริญเติบโตยืดยาวต่อไปในแนวตรงข้ามกับแรงดึงดูดทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะโค้งหรืองอ คุณภาพต่ำลงเนื่องจากส่วนที่งอจะเกิดอาการกระด้าง เมื่อรับประทานหรือทำให้คุณค่าในการใช้ประโยชน์ต่ำลง

4.3 การงอกของเมล็ดตั้งแต่อยู่ในผล เช่น มะเขือเทศ พริกหวาน หรือ ถึงแม้ว่าจะพบไม่บ่อยนักแต่ก็ทำให้คุณภาพของผลต่ำลง

5. การคายน้ำ หรือสูญเสียน้ำ (Transpiration or water loss)

การสูญเสียน้ำจัดได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผลิตภัณฑ์ ซึ่งนอกจากมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำหนักแล้ว ยังทำให้สภาพภายนอกของผลิตภัณฑ์ไม่น่าดู เช่น เหี่ยว, ย่น นอกจากนี้ยังทำให้คุณภาพภายในผล เช่น เนื้อสัมผัส, ความกรอบ หรือความฉ่ำน้ำภายในผลลดลงด้วย น้ำสามารถสูญเสียจากผลิตภัณฑ์ในรูปของไอน้ำ ไอน้ำอิ่มตัวซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะสูญเสียไปเนื่องจากการแพร่ออกทางช่องเปิดธรรมชาติต่างๆ เช่น cuticle, epidermal cell, stomata lenticels, trichome (ขน) ตลอดจนบาดแผลที่เกิดจากการชอกช้ำ นอกจากนี้อัตราการคายน้ำยังขึ้นกับปัจจัยภายนอก หลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของลม และความดันของบรรยากาศ เป็นต้น

ขบวนการคายน้ำเป็นขบวนการทางกายภาพที่สามารถควบคุมได้หลายวิธี ทั้งวิธีที่ทำกับผลิตภัณฑ์โดยตรง เช่น การเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ด้วยสารเคลือบผิว หรือการหุ้มผลิตภัณฑ์ด้วยฟิล์มพลาสติก และวิธี ทั้งวิธีที่ทำกับผลิตภัณฑ์โดยตรง เช่น การเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ด้วยสารเคลือบผิว หรือการหุ้มผลิตภัณฑ์ด้วยฟิล์มพลาสติกและวิธีปรับสภาพแวดล้อม เช่น การปรับสภาพความชื้นรอบๆ ผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับสูง หรือการควบคุมการถ่ายเทของอากาศ

6. ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืช (Physiological breakdown)

6.1 การเก็บรักษาผลิตผลไว้ในที่ที่อุณหภูมิไม่เหมาะสม

- ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากได้รับอุณหภูมิต่ำเกินไป (Chilling injury) มักเกิดขึ้นกับพืชเมืองร้อนหรือพืชกึ่งร้อน ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 5 ถึง 15 องศาเซลเซียส ความเสียหายอาจปรากฏออกมาในลักษณะของการเปลี่ยนสีของผิวและเนื้อจุดหรือบริเวณซ้ำ สุกไม่สม่ำเสมอภายในผลเดียวกันสูญเสียความสามารถในการสุก หรือรสชาติผิดปกติไป และยังทำให้ผลิตผลอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์อีกด้วย

- ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากได้รับอุณหภูมิสูงเกินไป (Heat injury) อาจเกิดขึ้น เนื่องจากปล่อยให้ผลิตผลได้รับแสงแดดโดยตรง หรือได้รับความร้อนสูงไประหว่างขั้นตอนการปฏิบัติ หลังการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้ Hot treatment หรือการเก็บรักษาไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้ผิวไหม้หรือฟอกสีจางลง สุกไม่สม่ำเสมอ ผลเน่าวมหรือเน่า หรือผิวแห้งหรือเหี่ยวผิดปกติ

6.2 ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืช อาจเกิดขึ้นจากการได้รับธาตุอาหารบางชนิดไม่เพียงพอใน ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น อาการ blossom end rot ในมะเขือเทศ และอาการไส้ขมในแอปเปิ้ล ซึ่งเกิดจากการที่ผลิตผลไม่ได้รับธาตุแคลเซียมในปริมาณที่เพียงพอระหว่างการพัฒนาของผล ความผิดปกติเหล่านี้สามารถลดลง ได้ด้วยการเพิ่มธาตุแคลเซียมให้กับผลิตผลทั้งในระยะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว

6.3 การปล่อยให้บรรยากาศที่เก็บรักษาผลิตผลมีปริมาณ O_2 ที่ต่ำเกินไป (ต่ำกว่า 1 %) และ / หรือ ได้มีปริมาณ CO_2 ที่สูงเกินไป (มากกว่า 20 %) สามารถทำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาได้เช่นกัน

7. ความเสียหายทางกายภาพ (Physical damage)

ผลิตผลพืชสวนเกือบทุกชนิดประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 90) ดังนั้นจึงทำให้มีลักษณะอวบน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะที่ง่ายต่อการเกิดความเสียหายทางกายภาพ เช่น ผิวข่วนเสียหาย บาดแผลที่เกิดจากการตกกระทบ (impact bruising) หรือบาดแผลที่เกิดจากการสั่นสะเทือน (vibration bruising) เป็นต้น บาดแผลเหล่านี้นอกจากจะทำให้ผลิตผลมอดดูไม่น่าซื้อในสายตาของผู้บริโภคแล้วยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพลงภายในเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากบาดแผลเหล่านี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นเป็นจุดที่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่าย อีกทั้งยังช่วยเร่งขบวนการหายใจและขบวนการผลิตก๊าซเอทิลีนในผลิตผลอีกด้วย

8. ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากโรคพืชภายหลังการเก็บเกี่ยว (Pathological breakdown) เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราหลายชนิดสามารถทำให้เกิดการเน่าเสียขึ้นในผลิตผลพืชสวน เชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อที่ไม่มีควมรุนแรงมากนัก (weak pathogen) ดังนั้นจึงสามารถเข้าทำลายภายหลังจากที่ผลิตผลเกิดความเสียหายทางกายภาพหรือเกิดบาดแผล มีเพียงเชื้อราบางชนิดเท่านั้น เช่น เชื้อ *Collectrichum* sp. ที่สามารถเจาะเข้าทำลายทางผิวของผลิตผลที่สมบูรณ์ได้ นอกจากนี้เชื้อราบางชนิด เช่น เชื้อ *Collectrichum* sp. และ เชื้อ *Botryodiplodia* sp. สามารถเข้าไปแอบแฝงอยู่ภายในผลตั้งแต่ผลเริ่มปฏิสนธิและจะเริ่มแสดงอาการปรากฏออกมาให้เห็นเมื่อผลเริ่มสุก ผลิตผลโดยทั่วไปมักมีความต้านทานต่อเชื้อเหล่านี้ที่อยู่ตลอดช่วงของอายุ แต่สำหรับพืชบางชนิดหรือบางพันธุ์ เมื่อถึงระยะสุกจะมีความต้านทานที่มีอยู่ลดน้อยลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีขององค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดในระยะนี้ นอกจากนี้ความผิดปกติทางสรีรวิทยาและความเสียหายทางกายภาพก็มีส่วนทำให้ความต้านทานที่มีต่อโรคลดลงเช่นกัน

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลิตผล

1. อุณหภูมิ มีผลโดยตรงต่อการดำเนินงานของเอนไซม์อุณหภูมิที่ลดต่ำลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ลดลง 2 ถึง 3 เท่าตัว อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีต่ออัตรา การเน่าเสียของผลิตผล นอกจากอุณหภูมิจะมีผลโดยตรงต่อผลิตผลแล้วอุณหภูมียังมีผลโดยตรงต่อการงอกของสปอร์การ เจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการสูญเสียน้ำของผลิตผล
2. ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผลสัดขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำระหว่างผลิตผล และบรรยากาศภายนอก ซึ่งถูกควบคุมด้วยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ อัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง ในขณะที่เดียวกันที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการสูญเสียน้ำก็จะเพิ่มมากขึ้น
3. ส่วนประกอบของบรรยากาศ การลดปริมาณของ O_2 และ / หรือ ปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศรอบๆ ผลิตผลก็มีผลทั้งในการชะลอหรือเร่งการเน่าเสียของผลิตผล ทั้งนี้จะก่อให้เกิดผลดีหรือผลเสียนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลพันธุ์ อายุทางสรีรวิทยา ระดับของ O_2 และ CO_2 อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา
4. ก๊าซเอทิลีน ผลของก๊าซเอทิลีนที่มีต่อผลิตผลพืชสวนภายหลังการเก็บเกี่ยว นั้น มีทั้งที่เป็นที่ต้องการและทั้งไม่เป็นที่ต้องการ ก๊าซเอทิลีนสามารถนำมาใช้กับผลไม้ที่เก็บในระยะแก่จัด แต่ยังมีสีเขียวเพื่อให้ผลไม้สุกสม่ำเสมอขึ้นใช้กันมากในผลิตผลจำพวกกล้วย หรือ มะม่วง เป็นต้น นอกจากนี้ก๊าซเอทิลีนยังสามารถนำมาใช้ขจัดคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวในพืชตระกูลส้ม

เพื่อให้ได้ส้มที่มีสีเหลืองสวยงามตลอดผล แต่อย่างไรก็ตามการปล่อยให้ผลิตผลแทบทุกชนิดได้รับก๊าซเอทิลีนมักจะทำให้ผลิตผลมีคุณภาพเสื่อมลง

5. แสงแดด ผลิตผลบางชนิด เช่น มันฝรั่ง เมื่อได้รับแสงแดดจะเกิดการสร้างกลอโรฟิลล์ และ / หรือสารพวก solanine ซึ่งเป็นพิษเมื่อบริโภค

6. ปัจจัยอื่นๆ สารเคมีหลายชนิด เช่น ยาฆ่าเชื้อรา หรือสารเร่งการเจริญเติบโต อาจมีผลอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างต่อปัจจัยทางชีววิทยาได้

2.2 การพาสเจอร์ไรซ์

การพาสเจอร์ไรซ์ เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ความร้อนของของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเกือบทุกชนิด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ยาวนานขึ้น (วิล, 2543) ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส หลุยส์ พาสเตอร์ ในปี ค.ศ. 1862 เนื่องจากปฏิกิริยาร่อยสลายอาหารจะทำโดยจุลินทรีย์และเอนไซม์ (วราวุฒ, 2538) การพาสเจอร์ไรซ์จะทำลายเอนไซม์ และจุลินทรีย์บางชนิดที่ไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อน เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ โปรโตซัว รา และยีสต์ ความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารน้อยมาก ซึ่งแตกต่างจากการทำสเตอริไลซ์ที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้สูญเสียสารอาหารและวิตามินมากกว่า โดยทั่วไปในระดับอุตสาหกรรมการทำสเตอริไลซ์ของอาหารสดก็ไม่นิยมเพราะทำให้รสชาติและคุณภาพของอาหารเปลี่ยนไปมากกว่า ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์จะยังคงมีจุลินทรีย์บางชนิดเจริญได้ในอาหารนั้น (นิธิยา, 2544) การพาสเจอร์ไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่ไม่ใช่ทั้งหมดในอาหาร ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วต้องผ่านกระบวนการต่อไป หรือต้องเก็บรักษาในสภาวะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การเก็บนมพาสเจอร์ไรซ์ หรือน้ำผลไม้พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ถึง -10 องศาเซลเซียส (วิล, 2543) แต่การแช่เย็นอาหารไม่สามารถประกันได้ว่าจะปลอดภัยจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ เพราะไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียออกไปได้หมด นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางสปีชีส์ที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำด้วย (สุมณฑา, 2545)

กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาจทำได้ 2 ระบบ คือ

1. ระบบช้าอุณหภูมิต่ำหรือ LTLT (Low Temperature Long Time) เป็นระบบที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ง่ายแต่ใช้เวลานาน

2. ระบบเร็วอุณหภูมิสูงหรือ HTST (High Temperature Short Time) เป็นระบบที่ให้ความร้อนในระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลง คือที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงโดยเร็ว

ตาราง 2.2 ตัวอย่างวัตถุประสงค์ของการพาสเจอร์ไรซ์อาหารชนิดต่าง ๆ

อาหาร	วัตถุประสงค์หลัก	วัตถุประสงค์รอง	ภาวะการแปรรูปใช้
pH < 4.5 น้ำผลไม้	ทำลายเอนไซม์เปคตินเอสเทอเรส และ โพลีกาแลคโตโลเนส	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้ อาหารเน่า เสีย เช่น ยีสต์และ ฟังไจ	65 องศาเซลเซียส, 30 นาที 77 องศาเซลเซียส, 1 นาที 88 องศาเซลเซียส, 15 วินาที แล้วลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ถึง 3-7 องศาเซลเซียส
pH > 4.5 นํ้านม	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น <i>Brucella abortis</i> และ <i>Mycobacterium tuberculosis</i>	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้ อาหารเน่า เสียและทำลาย เอนไซม์บางชนิด	63 องศาเซลเซียส, 30 นาที 71.5 องศาเซลเซียส, 15 วินาที
ไข่เหลว	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้ อาหารเน่า เสีย	64.4 องศาเซลเซียส, 2.5 นาที 60 องศาเซลเซียส, 3.5 นาที

(ที่มา: Fellows, 2000)

จุดประสงค์ในการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์

ในการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ มีจุดประสงค์ดังนี้ (พรพล, 2545)

1. ต้องการเลี่ยงการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น น้ำส้มไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี
2. ต้องการให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีคงเดิม เช่น นํ้านมไม่ต้องการให้โปรตีนจับตัวเป็นก้อน
3. ต้องการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้บางชนิดเท่านั้น เช่น ในนํ้านมให้ความร้อนที่พอจะทำลายเชื้อวัณโรคเท่านั้น

4. ทำลายจุลินทรีย์ในอาหารส่วนใหญ่ซึ่งไม่สามารถทนความร้อนสูงๆ ได้ เช่น ยีสต์ และรา ในน้ำผลไม้ น้ำผักคอง

5. เมื่อต้องการทำลายจุลินทรีย์บางชนิดที่ขาดช่วงการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการ เช่น ในการหมักไวน์ต้องต้มทำลายจุลินทรีย์อื่นแล้วเพาะเชื้อที่ต้องการ

6. เมื่อเชื้อจุลินทรีย์ได้รับการควบคุมร่วมกับวิธีการอื่น เช่น นำนมหลังพาสเจอร์ไรซ์ต้องเก็บแช่เย็นไว้

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์

ในการเลือกใช้การให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์แก่ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา ดังนี้

1.1 pH อาหารที่มี pH ต่ำ เช่น น้ำผลไม้ ผัก และผลไม้คอง สามารถที่จะใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ก็เพียงพอ เนื่องจาก pH ต่ำ มีผลช่วยในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียอยู่แล้ว

1.2 เกลือ เนื่องจากเกลือมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่เค็มหรือใช้หรือมีปริมาณเกลือสูง เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำปลา จึงสามารถที่จะใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ในการฆ่าเชื้อได้เพียงพอ

1.3 น้ำตาล ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง เช่น นมข้นหวาน หรือผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมเข้มข้น สามารถที่จะใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ในการฆ่าเชื้อได้เพียงพอ เนื่องจากผลของความดันออสโมติกสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้แล้วในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีปริมาณของค่า a_w ที่ต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลยิ่งสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากยิ่งขึ้นด้วย

2. คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์นั้น เช่น กรณีของนม นิยมจะใช้การให้ความร้อนในระบบ High Temperature Short Time มากกว่าระบบ Low Temperature Long Time เป็นต้น

นอกจากนี้แล้ว การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนของจุลินทรีย์เริ่มต้น เช่น ถ้าในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดเดียวกัน แต่มีจำนวนของจุลินทรีย์เริ่มต้นต่างกัน เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพต่างกันหรือขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบต่างกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์หรือปัจจัยต่างๆ ภายหลังจากที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์แล้ว ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์

ที่เหลืออยู่ต่างกัน ในผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์เหลืออยู่มาก จะสามารถเก็บรักษาได้ในเวลาสั้นกว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์เหลืออยู่น้อย

ในกรณีของจุลินทรีย์ ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่รอดชีวิต เนื่องจากในจุลินทรีย์บางชนิดมีความสามารถในการต้านทานความร้อนต่างกัน เช่น แบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้ ดังนั้นจึงอาจมีชีวิตรอดอยู่ ภายหลังจากที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์จำเป็นต้องทำให้เย็นลงทันที เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ที่รอดชีวิตสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้ เพราะถ้าจุลินทรีย์ที่มีชีวิตรอดนี้อาจสามารถก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ ถ้าผลิตภัณฑ์ไม่ได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น กรณีของน้ำนมพาสเจอไรซ์ ที่จำหน่ายตามท้องตลาดจำเป็นต้องแช่ตู้เย็น จึงจะสามารถเก็บรักษาได้เกิน 1 สัปดาห์ เป็นต้น หรืออาศัยวิธีการในการถนอมอาหารวิธีอื่นช่วย เช่น ต้องบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์อย่างถูกสุขลักษณะอีกด้วย

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์นั้น จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทุกชนิด แต่เนื่องจากการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์นี้ สามารถทำลายได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนระดับนี้ จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการอื่นๆ ที่เหมาะสม เพื่อจำกัดสถานะให้จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารไม่ให้อาจเจริญได้ หรือเจริญได้ในปริมาณน้อยที่สุดและสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น ทั้งนี้วิธีการที่นิยมใช้ให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ได้นานขึ้น โดยไม่ทำให้อาหารเสื่อมเสียนั้นพอจะสรุปได้ดังนี้

1. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้เย็น (อุณหภูมิประมาณ 4-10 องศาเซลเซียส)
2. การเติมสารบางชนิดเพื่อให้เกิดสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การเติมกรดในน้ำผลไม้
3. การควบคุมสภาพปราศจากอากาศ เช่น การบรรจุผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศ
4. การดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น การเติมน้ำตาลในนมข้นหวาน
5. การเติมวัตถุกันเสีย เช่น เกลือ โซเดียมเบนโซเอตในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้

ผลของการใช้ความร้อนสูงต่อคุณภาพของอาหาร (พรพล, 2545)

การใช้ความร้อนสูงทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ ทำให้สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนที่พอเหมาะ ถ้ามากเกินไปย่อมทำให้คุณภาพของอาหารด้อยลง ดังนี้

1. สี ความร้อนทำลายเม็ดสี จึงทำให้สีของผัก และผลไม้เปลี่ยนไปจากเดิม การใช้อุณหภูมิสูงเวลายาวนาน ทำให้สีเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ แต่เวลานาน นอกจากนี้อาหารที่บรรจุขวดใส ผลจากแสงยังทำให้สีอาหารซีดลงและอาจทำให้กลิ่นรสผิดไป นอกจากนี้ถ้ามีไขมันในอาหารที่มีโปรตีนสูง หรือผักตระกูลกะหล่ำปลีอาจทำปฏิกิริยากับเหล็กทำให้มีสีคล้ำได้

2. กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับสี ความร้อนต่ำ ระยะเวลาสั้น ทำให้กลิ่น รส และผิวสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไปได้มากกว่าความร้อนสูง ระยะเวลาสั้นและสารที่ทำให้อาหารข้น เช่น เจลาติน แป้ง และเพคติน จะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงหรือนานเกินไป เนื้อสัตว์เท่านั้นที่จะมีกลิ่นรสดีขึ้นเมื่อได้รับความร้อน สำหรับสารให้กลิ่นอาจมีการสูญเสียบ้าง และอาจเกิด cooked flavor ได้ ฉะนั้นในบางอุตสาหกรรมอาจมีการแต่งเติมกลิ่นสี และรสชาติเพิ่มเติม (นิริยา, 2544)

3. คุณค่าทางโภชนาการ ความร้อนในกระบวนการบรรจุอาหารกระป๋องมีผลต่อสารอาหารต่างๆ ดังนี้

3.1 ความร้อนทำให้โปรตีนเปลี่ยนสภาพธรรมชาติ ความร้อนขึ้นต่ำช่วยให้โปรตีนย่อยง่ายขึ้น แต่การใช้ความร้อนสูง และเวลานานเกินไปกลับทำให้โปรตีนย่อยยากขึ้น เอนไซม์ไม่สามารถย่อยโปรตีนที่กินเข้าไปบางส่วนได้ ร่างกายจึงไม่ได้รับประโยชน์เต็มที่

3.2 ความร้อนเร่งปฏิกิริยาการหืนของไขมัน ในอาหารกระป๋องที่ผ่านกรรมวิธีอย่างถูกต้อง เอนไซม์ไลเปสที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นมาจะถูกทำลายด้วยความร้อน อีกทั้งสภาพสุญญากาศทำให้ไม่มีการเติมออกซิเจน จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับสภาพไขมัน

3.3 น้ำตาลและแป้งสลายตัวเมื่อให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งให้สารสีน้ำตาล และเกิดน้ำตาลไหม้ขึ้น

3.4 การบรรจุกระป๋องทำให้วิตามินที่ละลายในน้ำสูญเสียได้มากกว่าวิตามินที่ละลายในไขมัน วิตามินบี 1 สลายตัวง่ายเมื่อได้รับความร้อน แต่จะคงตัวขึ้นในสารละลายที่เป็นกรด ตามปกติอาหารกระป๋องที่เป็นกรด ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงมากอยู่แล้ว วิตามินชนิดนี้จึงสูญเสียไม่มาก วิตามินบี 2 ทนความร้อนได้แต่ถูกทำลายโดยแสง จึงสูญเสียน้อยมาก ยกเว้นอาหารที่บรรจุขวดซึ่งสูญเสียมากกว่าอาหารกระป๋อง วิตามินซีถูกทำลายด้วยความร้อนต่ำและระยะเวลาสั้น การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น ในกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ช่วยรักษาวิตามินซี ส่วนทางด้านกรด

เพนโทเทนิค, ไบโอดีน, วิตามินเอ และวิตามินดี พบว่าทนทานความร้อนได้ดี การใช้ความร้อนสูง จึงไม่มีผลต่อสารอาหารเหล่านั้น (Fellow, 2000)

การพาสเจอร์ไร้น้ำผลไม้จะทำให้สูญเสียวิตามินซี และเบต้า-แคโรทีน ในกระบวนการแปรรูปอาหาร หรือระหว่างการเก็บรักษา วิตามินเอและแคโรทีนถูกทำลายได้ประมาณร้อยละ 5-40 และภาวะที่ใช้แปรรูปอาหารตามปกติ เช่น การพาสเจอร์ไร้น้ำนมจะไม่มีผลสูญเสียวิตามินเอ และแคโรทีน แต่จะสูญเสียเมื่อน้ำนมสัมผัสกับแสง ดังนั้นการใช้ภาชนะบรรจุที่ทึบแสงจะช่วยรักษาปริมาณวิตามินเอและแคโรทีนได้ ส่วนวิตามินอีทนต่อกรด แต่ไม่ทนต่อด่าง แสง อัลตราไวโอเลต และออกซิเจน วิตามินซีมีความคงตัวต่ำสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และ ความร้อน ส่วนโลหะหนักจะเร่งการสลายตัวของวิตามินซีให้เกิดเร็วขึ้น

รงควัตถุในอาหารจากพืช แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ ขั้นตอนในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การลวก จัดเป็นวิธีการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์แบบหนึ่ง ที่ใช้สำหรับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เพราะการลวกจะทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์บางชนิดเท่านั้น เหมือนกับการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ (Potter, Norman N. and Hotchkiss, Joseph H. 1995 : 139) แต่จะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการต้ม ทำให้คุณค่าของสารอาหารบางอย่างยังคงอยู่ การลวกมีผลต่อแคโรทีนอยด์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะทำลายเอนไซม์ที่ย่อยสลายแคโรทีนอยด์ และ แคโรทีนอยด์จะคงตัวได้ดีในอาหารแช่แข็งและอาหารที่ใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ แต่การทำแห้ง จะสามารถทำลายแคโรทีนอยด์ได้ (นิธิยา, 2539)

2.3 วิตามิน

วิตามินเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงานหรือเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อใด ๆ แต่มีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตให้เป็นปกติ และมีความจำเป็นในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมร่างกาย โดยที่วิตามินที่ละลายในไขมัน ส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และอาจเกี่ยวข้องกับการแปรรูปของเซลล์ จึงช่วยส่งเสริมในการเจริญเติบโต ส่วนวิตามินที่ละลายในน้ำจะทำหน้าที่ร่วมกับเอนไซม์ เรียกว่าโคเอนไซม์ (coenzyme) ซึ่งช่วยในการทำงานของน้ำย่อยในกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของอาหารในร่างกายและการเมแทบอลิซึมของเซลล์ (นฤตม และกวีณา, 2545)

วิตามินที่มีบทบาทในโภชนาการมนุษย์มีประมาณ 20 ชนิด แต่ละชนิดร่างกายต้องการในปริมาณที่แตกต่างกัน วิตามินบางชนิดร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เอง เช่น วิตามินดี ร่างกาย

สามารถสังเคราะห์ได้เองโดยเปลี่ยน 7-ดีไฮโดรคอเลสเตอรอล (7-Dehydrocholesterol) มาเป็นวิตามินดี เมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ต วิตามินบีสิบสองและวิตามินเค แบคทีเรียในลำไส้คนสามารถสังเคราะห์ได้ ส่วนวิตามินบางชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินบีหนึ่ง เป็นต้น ต้องได้รับจากอาหาร

วิตามินเป็นสารอาหารที่ถูกทำลายได้ง่าย เมื่อถูก ความร้อน แสงสว่าง ออกซิเจน กรดและด่าง ซึ่งวิตามินแต่ละชนิดจะมีความไวต่อปัจจัยเหล่านี้ต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำอาหารไปแปรรูปและประกอบอาหาร วิตามินจะสูญเสียได้ง่ายในระหว่างการแปรรูป

วิตามินแต่ละตัวจะมีสูตร โครงสร้างแตกต่างกัน แต่คุณสมบัติในด้านการละลายจะคล้ายกัน โดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. วิตามินที่ละลายในไขมัน (fat-soluble vitamins) เป็นวิตามินที่ละลายในไขมันและสารละลายของไขมัน โครงสร้างจะประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน ร่างกายดูดซึมวิตามินประเภทนี้โดยเข้าสู่ระบบน้ำเหลืองพร้อมกับไขมัน เมื่อเข้าไปแล้วจะจับกับโปรตีนเพื่อช่วยให้ละลายได้ในน้ำ โดยมากวิตามินประเภทนี้จะมีสารแรกเริ่ม (precursor) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตร โครงสร้างทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับวิตามินนั้น โดยตรง แต่ยังไม่สามารถทำหน้าที่ได้จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปแบบทำงานได้ เช่น แคลโรทีน เป็นสารแรกเริ่มของวิตามินเอ แต่ไม่สามารถทำหน้าที่ของวิตามินเอได้จนกว่าจะเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของวิตามินเอที่ผนังลำไส้เล็ก วิตามินที่ละลายในไขมันนี้ เมื่อร่างกายได้รับในปริมาณมากเกินไปที่ร่างกายต้องการในแต่ละวันปริมาณที่เหลือจะเก็บไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน ไม่ถูกขับออกมา ดังนั้นเมื่อร่างกายได้รับวิตามินประเภทนี้ไม่ครบอาการขาดจะปรากฏช้ามาก วิตามินที่จัดอยู่ในประเภทนี้คือ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค

2. วิตามินที่ละลายในน้ำ (water-soluble vitamins) เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำ โครงสร้างประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และธาตุชนิดอื่น เช่น โคบอลท์ กำมะถัน เป็นต้น ร่างกายดูดซึมวิตามินประเภทนี้เข้าสู่กระแสเลือด และส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอิสระ วิตามินประเภทนี้ร่างกายจะเก็บสะสมไว้เพียงเล็กน้อย ที่เหลือจะถูกขับออกมาทางปัสสาวะ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ร่างกายต้องได้รับในปริมาณที่เพียงพอทุกวัน เพื่อป้องกันการขาดที่จะเกิดขึ้น เพราะอาการขาดจะปรากฏอย่างรวดเร็ว วิตามินที่จัดอยู่ในประเภทนี้มี วิตามินบีหนึ่ง, วิตามินบีสอง, ไนอาซิน (niacin), วิตามินบีหก, วิตามินบีสิบสอง, กรดแพนโทเทนิก (pantothenic acid), ไบโอติน (biotin) และโฟลาซิน (folacin) วิตามินทั้งหมดนี้อยู่ในกลุ่มของวิตามินบี วิตามินซีเป็นวิตามินอีกชนิดหนึ่งที่เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำ

2.3.1 วิตามินเอ (axerophthol)

เป็นวิตามินที่ละลายในไขมันปรากฏอยู่ในธรรมชาติ 2 รูป คือ วิตามินเอและแคโรทีน (carotene) ซึ่งเป็นรูปของสารแรกเริ่มของวิตามินเอ อาหารที่เป็นแหล่งที่ดีและมีวิตามินเอมากคือ นม เนย ไข่ และไข่แดง เนื้อสัตว์มีวิตามินเอน้อยมาก วิตามินเอเมื่อร่างกายดูดซึมเข้าไปจะนำไปใช้ ได้ทันทีเมื่อผ่านขบวนการเผาผลาญภายในร่างกาย ส่วนแคโรทีนมีในสารที่เรียกว่าแคโรทีนอยด์ (carotenoid) แต่แคโรทีนอยด์บางชนิดเท่านั้นที่ให้ vitamin A activity หรือเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ การให้ vitamin A activity ของแคโรทีนอยด์แต่ละตัวไม่เท่ากัน เบต้า-แคโรทีนจะเป็นแคโรทีนอยด์ ที่ให้ vitamin A activity มากที่สุด พบมากในพืชในเขียวเข้ม ผักและผลไม้สีเหลือง เช่น มะละกอสุก ฟักทอง แครอท ผักบุ้ง เป็นต้น วิตามินเอที่อยู่ในรูปแคโรทีนนี้ ร่างกายจะสามารถดูดซึมได้ต้องใช้เวลา นานกว่าการดูดซึมวิตามินเอคือประมาณ 6-7 ชั่วโมงหลังจากที่บริโภค ในขณะที่วิตามินเอใช้ ระยะเวลาในการดูดซึมเพียง 3-5 ชั่วโมง นอกจากนี้การดูดซึมเบต้า-แคโรทีน โดยเฉลี่ยจะ ประมาณร้อยละ 33 ของปริมาณที่กินเข้าไป และประสิทธิภาพของการเปลี่ยนเป็นเรตินอล ประมาณร้อยละ 50 ดังนั้น ถ้ากินวิตามินเอในรูปของแคโรทีนต้องกินเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เพราะการย่อย และการดูดซึมยากกว่า

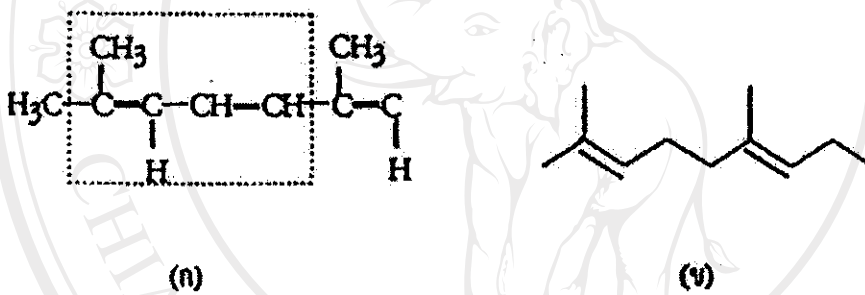
สารแคโรทีนอยด์ (carotenoid)

แคโรทีนอยด์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 40 อะตอม สูตรโครงสร้างพื้นฐานของแคโรทีนอยด์ จัดเป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์พรีน (terpene group) เกิดจากหมู่ไอโซพรีน 8 หน่วย ซึ่งเป็นสารประกอบอัลคีน (alkene) ที่มีพันธะคู่จำนวนมาก (polyene) ในโมเลกุลมาเรียงต่อกันเป็นสายยาว มีลักษณะที่สำคัญคือ 2 พันธะคู่จะถูกแบ่งโดยพันธะ เดี่ยว และมีการเชื่อมต่อกับหมู่เมทิล แสดงดังรูป 2.2 โดยการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีนใน โครงสร้างโมเลกุลมี 2 แบบ คือ แบบหัวโมเลกุลต่อกับท้ายโมเลกุล (head to tail) และท้ายโมเลกุล ต่อท้ายโมเลกุล (tail to tail) (รูป 2.3) การเชื่อมต่อระหว่างหมู่ไอโซพรีนของแบบที่ 2 จะพบที่ บริเวณส่วนกลางในโครงสร้างโมเลกุลแคโรทีนอยด์ (Gross, 1987)

นอกจากนี้โครงสร้างโมเลกุลของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ยังประกอบด้วยวงแหวนที่มี คาร์บอนอยู่ 5 หรือ 6 อะตอม (ส่วนใหญ่ที่พบมี 6 อะตอม) เป็นแบบวงแหวน (cyclic) โดยต่ออยู่ที่ ปลายของโครงสร้างด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านของโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น เบต้า-แคโรทีน, แอลฟา-แคโรทีน (α -carotene), ไวโอเลทริน (violerythrin) และ/หรืออาจมีอนุพันธ์อื่นๆ ที่มี ออกซิเจนอะตอมมาเกาะอยู่ด้วย ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl), คีโต (keto), อีพอกซี (epoxy),

เมทอกซี (methoxy) หรือหมู่กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ตัวอย่างเช่น ลูทีน (lutein) ซึ่งเป็น C-30-dialdehyde เป็นต้น (Britton and Hornero-Mendez, 1997)

ลักษณะการเชื่อมต่อกันของหมู่ไอโซพรีน ทำให้เกิดการสมมาตรของโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ และพันธะคู่ในโครงสร้างอาจเกิดการหมุน หรือเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะ (rotation) ในโครงสร้างได้ (Handelman, 1996) ทำให้สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (geometric) ได้หลายไอโซเมอร์ (isomer) คือ Z-E isomer โดย E isomer หมายถึง all *trans* form เป็นรูปถูกพบมากกว่า Z isomer หรือ *cis* form โดยทั่วไปแคโรทีนอยด์อยู่ในรูป *trans* form มีความคงตัวสูง เช่น เบต้า-แคโรทีน ที่พบเป็นรูป all *trans* ถึงร้อยละ 90 อีกร้อยละ 10 จะอยู่ในรูป *cis* form ลักษณะรูปแบบ *cis* และ *trans* ในโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์แสดงดังรูป 2.4 และสูตรโครงสร้างของเบต้า-แคโรทีนและแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ แสดงดังรูป 2.5



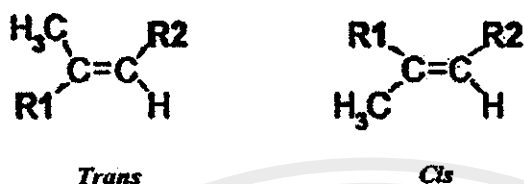
รูป 2.2 สูตรโครงสร้างของหมู่ไอโซพรีน

(ที่มา : Goodwin, 1980)



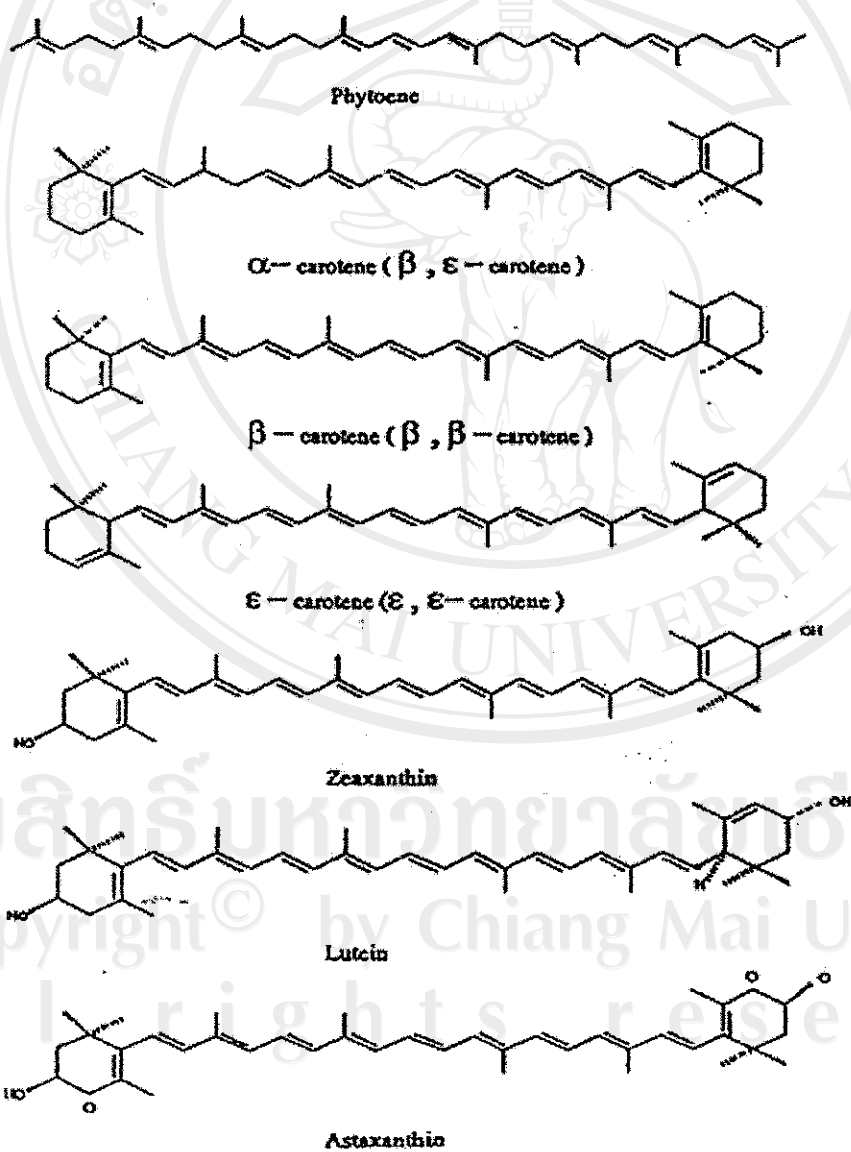
รูป 2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีน

(ที่มา : Gross, 1987)



Trans : ตำแหน่งของ R₁ และ R₂ ที่อยู่บนพันธะคู่จะอยู่ตรงข้ามกัน
Cis : ตำแหน่งของ R₁ และ R₂ ที่อยู่บนพันธะคู่จะอยู่ด้านเดียวกัน

รูป 2.4 ลักษณะรูปแบบ *Cis* และ *Trans* ไอโซเมอร์ในโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์
 (ที่มา : Schoefs, 2002)



รูป 2.5 โครงสร้างของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ
 (ที่มา : Goodwin, 1980; Handelman, 1996)

การจำแนกสารกลุ่มแคโรทีนอยด์

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้ (Goodwin, 1980)

สารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน (hydrocarbon carotenes) เป็นกลุ่มที่โครงสร้างของโมเลกุล ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมกับไฮโดรเจนอะตอมเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ลูทีน, เบต้า-แคโรทีน และไลโคพีน เป็นต้น

กลุ่มออกซิเจนเตดแซนโทฟิลล์ (oxygenated xanthophylls) เป็นกลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่ออกซิเจนที่ประกอบด้วยออกซิเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลด้วย ได้แก่ สารพวกแซนโทฟิลล์ เช่น ซีแซนทีน (zeaxanthin) มีอนุพันธ์ของไฮดรอกซิล สไปลิลโลแซนทีน (spilloxanthin) มีอนุพันธ์ของเมทอกซิล เป็นต้น

การแบ่งแคโรทีนอยด์ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่นั้น จะเห็นได้ว่ากลุ่มของออกซิเจนเตดแซนโทฟิลล์มีความเป็นประจุ (polar) มากกว่ากลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน ดังนั้นจากสมบัตินี้เองเมื่อต้องการแยกแคโรทีนอยด์ 2 กลุ่มนี้ออกจากกัน ในการสกัดจึงใช้ตัวทำละลายที่มีประจุมาแยกสารทั้ง 2 กลุ่ม หากตัวทำละลายมีความเป็นประจุมากขึ้นสารในกลุ่มแคโรทีนก็จะละลายในตัวทำละลายได้น้อยลง

แคโรทีนอยด์เป็นสารที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยากระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืช โดยแคโรทีนอยด์จะอยู่ร่วมกับคลอโรฟิลล์ ในรูป pigment-protein complex ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งแคโรทีนอยด์เมื่ออยู่ร่วมกับโปรตีนจะทำให้ทั้งแคโรทีนอยด์และโปรตีนมีความเสถียรมากขึ้น แคโรทีนอยด์ที่อยู่ในเซลล์ของพืชนั้นมีหน้าที่ดังนี้ (จิรวรรณ, 2541; Goodwin, 1980; Bauernfeind, 1981)

1. ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง คือ แคโรทีนอยด์จะช่วยดูดกลืนแสง (lightharvesting) ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดกลืนได้ แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานและถ่ายเทให้แก่คลอโรฟิลล์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงต่อไป

2. ช่วยป้องกันและปกป้องเซลล์ของพืชจากการถูกทำลาย เนื่องจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงจะมีพลังงานเกิดขึ้นสูงมากและเกิดขึ้นรวดเร็วแต่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดซับพลังงานที่เกิดขึ้นนี้ได้หมดทันที พลังงานที่มากเกินไปจะทำลายเซลล์ของพืช ซึ่งแคโรทีนอยด์จะไปรับพลังงานที่เกิดขึ้นแล้วจึงนำไปให้กับคลอโรฟิลล์ หรือไปรวมกับ singlet oxygen (1O_2) นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังช่วยป้องกันการเกิด photo-oxidation ไม่ให้ 1O_2 ไปทำลายเซลล์พืช

นอกจากจะพบแคโรทีนอยด์ในพืชและสัตว์แล้ว ยังสามารถพบได้ในจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย รา และสาหร่ายอีกด้วย แคโรทีนอยด์พบได้หลายลักษณะ ดังนี้ (Beuermfeind, 1981)

1. เป็นหยดไขมันเล็กๆ ในเซลล์เนื้อเยื่อ เช่น แครอท
2. กระจายตัวเป็นอนุภาคคอลลอยด์ในส่วนที่เป็นไขมัน เช่น ปาล์มน้ำมัน
3. จับกับโปรตีนในส่วนที่เป็นสารละลายในน้ำ (aqueous phase) เช่น ในผลไม้
4. เกิดเอสเทอร์กับกรดไขมัน เช่น ในผลไม้สุก

ประโยชน์ของสารแคโรทีนอยด์

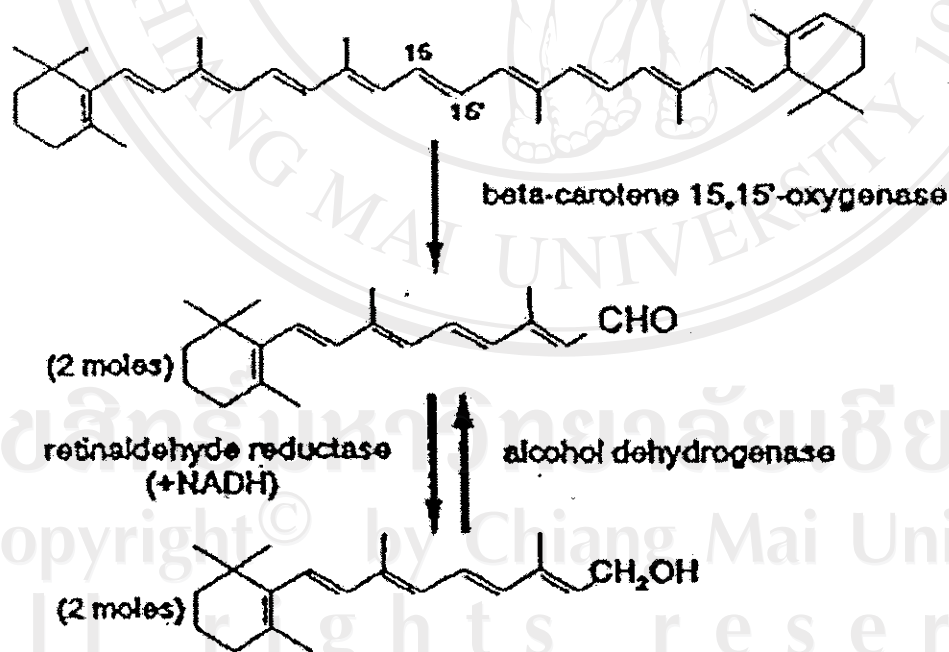
1. เป็นสารสี เนื่องจากโครงสร้างของแคโรทีนอยด์มี conjugated double bonds เรียกว่า chromophore ทำให้แคโรทีนอยด์แต่ละชนิดดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน จึงมีผลต่อสีที่ปรากฏของผลไม้ที่มีสารแคโรทีนอยด์เป็นส่วนประกอบ โดยสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์จะถูกนำไปใช้เป็นที่ผสมอาหาร ตัวอย่าง เช่น เบต้า-แคโรทีน, เบต้า-อะโป-8'-แคโรทีนาล (β -apo-8'-carotenal), แซนโทฟิลล์ และแคนทาแซนทิน (canthaxanthin) ในสหรัฐอเมริกาอนุมัติให้ใช้สารทั้ง 4 ชนิดนี้ผสมในอาหารได้ (Ball, 1992) ซึ่งสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ให้สีเหลือง-ส้ม และส้ม-แดงแก่ผลิตภัณฑ์อาหาร

ลักษณะของแคโรทีนอยด์ที่ใช้เป็นที่ผสมอาหาร จะอยู่ในรูปสารละลายในน้ำมันหรือในน้ำ ตัวอย่างอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เนย มาการีน และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น (Beuermfeind, 1981) และอาจเป็นสารที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ ตัวอย่างเช่น เครื่องดื่ม และไอศกรีม (นิธิยา, 2545)

2. เป็นสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) เนื่องจากโครงสร้างของแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่ที่สายของโมเลกุล ทำให้แคโรทีนอยด์มีความสามารถจับกับ 1O_2 จึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากออกซิเจนได้ นั่นหมายถึงสารที่สามารถชะลอจุดเริ่มต้นหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ ผู้ป่วยที่เป็นโรคมุมนิคุ้มกันบกพร่อง (AIDS) จะมีความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน, แอลฟา-แคโรทีน, โลโคพีน, วิตามินเอ, ซีและอี ในพลาสมาต่ำกว่าปกติ (วรินทร์ดา, 2541) แสดงให้เห็นว่าเบต้า-แคโรทีนและสารต้านออกซิเดชันมีความสัมพันธ์กับสุขภาพร่างกายอย่างมาก สารแคโรทีนอยด์ยังสามารถยับยั้งปฏิกิริยาทางเคมี และการนำสารกลุ่มแคโรทีนอยด์มาใช้เป็นส่วนประกอบ หรือเคลือบผิวอาหาร เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น

3. เป็นสาร provitamin A กลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ที่พบในปัจจุบันมีมากถึง 600 ชนิด แต่มีประมาณ 50-60 ชนิดเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ (ตาราง 2.3) และแคโรทีนอยด์ที่พบปริมาณมากในอาหารมี 4 ชนิด ได้แก่ แอลฟา-แคโรทีน, เบต้า-แคโรทีน, แกมมา-แคโรทีน และเบต้า-คริบโตแซนทิน (Ball, 1992) สารที่สำคัญ คือ เบต้า-แคโรทีน เนื่องจากเบต้า-แคโรทีน 1 โมเลกุลจะมีเบต้า-ไอโอโนน 2 วงที่เหมือนกันมาต่อกันด้วยโซ่ยาวของคาร์บอนอะตอม เมื่อพันธะคู่ตรงกลางถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ที่อยู่ในผนังลำไส้เล็กและในตับจะได้ วิตามินเอ 2 โมเลกุล (รูป 2.6) ส่วนแอลฟา-แคโรทีน, แกมมา-แคโรทีน และเบต้า-คริบโตแซนทินจะให้ วิตามินเอ 1 โมเลกุล เพราะมีเบต้า-ไอโอโนนเพียงวงเดียว (สมทรง, 2543)

การได้รับสารโปรวิตามินเอในระดับที่สูงจะไม่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษจากวิตามินเอ (vitamin A toxicity) แต่จะมีการสะสมที่อวัยวะต่างๆ เกิดภาวะที่เรียกว่า แคโรทีโนซิส (carotenosis) ทำให้ผิวหนังบริเวณร่องจมูก ฝ่ามือ และอุ้งเท้ามีสีเหลือง สำหรับในอวัยวะอื่นได้ศึกษาในผู้ป่วยที่ได้รับเบต้า-แคโรทีนระดับสูง เพื่อรักษาโรคไวต่อแสง (photosensitivity) พบว่า ไม่มีการสะสมของเบต้า-แคโรทีนในตับและสมอง (วรินทร์ดา, 2541; Maga and Tu, 1995; Rucker *et al.*, 2001)



รูป 2.6 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงเบต้า-แคโรทีนเป็นวิตามินเอในร่างกาย
(ที่มา : สมทรง, 2543)

ตาราง 2.3 ตารางในกลุ่มแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบกับ activity ของวิตามินเอ

แคโรทีนอยด์	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	21
β -carotene 5,8-epoxide	80
γ -carotene	42-50
β -zeacarotene	20-40

(ที่มา : Crawley, 1993)

4. ลดอัตราการเกิดโรค ผลการศึกษาวิจัย พบว่าเบต้า-แคโรทีนมีบทบาทโดยตรงต่อระบบต่างๆ ในร่างกายทั้งคนและสัตว์ เช่น ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบสืบพันธุ์ กระบวนการต่อต้านอนุมูลอิสระ ชัยยั้งและลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งที่อวัยวะต่างๆ ความคุ้มครองเจริญและเปลี่ยนแปลงของเซลล์ ป้องกันอาหารหัวใจวาย และโรคที่เกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ ซึ่งมีผลส่งเสริมให้สุขภาพร่างกายแข็งแรงมีอายุยืน (นวลศรี และ อัญชญา, 2545; Hudson, 1990; Handelman, 1996; Madhavi *et al.*, 1996; Bidlack *et al.*, 1998; Wilhelm and Helmut, 1999; Pokorny *et al.*, 2001; Rucker *et al.*, 2001)

การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์

1. เกิดจากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) ปฏิกิริยานี้เกิดจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความร้อน แสง และกรด

ก) ความร้อน แคโรทีนอยด์ ที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นรูป *trans* form หากได้รับแสงและมีความร้อนหรือรังสี จะทำให้โครงสร้างเกิดการบิดตัวไป 180 องศา เปลี่ยนเป็นรูป *cis* form (รูป 2.7) ซึ่งรูป *cis* form จะไม่ค่อยเสถียร มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสั้นลง สีที่ปรากฏจะ

2. เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ก) ออกซิเจน เมื่อแคโรทีนออกไซด์สัมผัสกับอากาศ ตำแหน่งพันธะคู่ใน โครงสร้างของ โมเลกุลจะไปจับกับออกซิเจนเกิดเป็นสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิลและสารระเหยอื่นๆ ปฏิกิริยานี้เป็น direct oxidation อัตราการสูญเสียแคโรทีนออกไซด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไม่ได้ขึ้นกับออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และความร้อนเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาด้วย (Crawley, 1993) การเก็บรักษาสารแคโรทีนออกไซด์ ในภาวะที่มีออกซิเจนเบต้า-แคโรทีน จะสูญเสียเป็นอันดับแรก แคนตาแซนทินไวต่อการเกิดออกซิเดชันน้อยสุดและอะโป-แคโรทีนอล (apo-carotenal) มีอัตราการสูญเสียเร็วที่สุด แต่ bixin ที่สกัดได้จาก annatto มีความเสถียรมากเมื่อเก็บรักษาไว้ในภาวะที่มีอากาศ

การป้องกันการออกซิเดชันจากออกซิเจน สามารถกระทำได้โดยการเติมสารต้านออกซิเดชัน เช่น กรดแอสคอร์บิก และบิวทิลเลทไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene; BHT) เป็นต้น (นิธิยา, 2545) หรือไม่ให้อาหารสัมผัสกับอากาศขณะเก็บรักษาเช่น ใช้น้ำมันเคลือบผิวหรือบรรจุก๊าซเฉื่อยในภาชนะบรรจุ หรือแบบสุญญากาศ

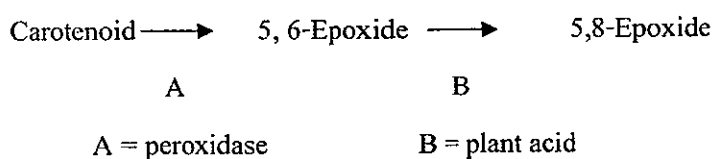
ข) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ และทำให้แคโรทีนออกไซด์เกิดออกซิเดชันไปด้วย เรียกว่า co-oxidation เป็นปฏิกิริยาแบบ indirect oxidation สามารถป้องกันได้โดยใช้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวในการผสมกับแคโรทีนออกไซด์

ค) การปนเปื้อนของโลหะ อีออนของโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้แคโรทีนออกไซด์เสื่อมสภาพ และถ้ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย การเสื่อมสลายจะยิ่งเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น โลหะทองแดงจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคพีนให้เร็วขึ้น 3.6 เท่า เนื่องจากอีออนของทองแดงจะไปเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) ได้เร็วขึ้น

ง) แสงสว่าง ปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากแสงสว่าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติ การเกิดออกซิเดชันจากแสงสว่างจะรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนในอากาศด้วย (Crawley, 1993)

จ) เอนไซม์ การเสื่อมสลายของแคโรทีนออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากแคโรทีนออกไซด์ที่อยู่ภายในเซลล์ในรูปของ pigment-protein complex ซึ่งมีความเสถียรมาก ดังนั้นต้องมีสารที่สามารถทำลายโครงสร้างนี้ได้คือ เอนไซม์ เมื่อแคโรทีนออกไซด์อยู่ในรูปอิสระ ก็จะมีการเสื่อมสลายได้ง่าย เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนออกไซด์ มีดังนี้

a. เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase : POD) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารแคโรทีนออกไซด์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังสมการ



การเสื่อมสลายทางอ้อม คือ การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งมีผลกระทบทำให้แคโรทีนอยด์เกิดออกซิเดชันตามไปด้วย

การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ในกลุ่มเปอร์ออกซิเดส ทำให้มีการวิจัยเพื่อหาวิธีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์นี้ จะช่วยป้องกันการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ตัวอย่างเช่น การเก็บรักษา chive โดยไม่ลวกก่อนนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 และ -30 องศาเซลเซียส สามารถคงคุณภาพไว้ได้นาน 3 และ 6 เดือน ตามลำดับ หากนำ chive ไปลวกที่อุณหภูมิ 94-96 องศาเซลเซียส นาน 90 วินาที ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินซี เบต้า-แคโรทีน และคลอโรฟิลล์ ได้นาน 12 เดือน และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส สามารถรักษาวิตามินซีได้ดีมาก (Kmiecik and Lisiewska, 1999) การเก็บรักษา hamburg parsley และ leafy parsley โดยการลวกที่อุณหภูมิ 96-98 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเบต้า-แคโรทีนใน hamburg parsley และ leafy parsley ภายหลังเก็บรักษานาน 9 เดือน สูญเสียเบต้า-แคโรทีนเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ parsley ที่ไม่ได้ผ่านการลวกก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง (Lisiewska and Kmiecik, 2000)

b. ไลปอกซิเดส (Lipoxidase) เอนไซม์นี้จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันมีผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระและอนุมูลอิสระของไขมันนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแคโรทีนอยด์

c. ไลโปเปอร์ออกซิเดส (Lipoperoxidase) เอนไซม์นี้จะเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของแคโรทีนอยด์เมื่อมีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ไลปอกซิเดส หรือเกิดจากการออกซิเดชันโดยอาศัยเอนไซม์

d. น้ำเป็นส่วนประกอบที่ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดี หากตัวอย่างถูกกำจัดน้ำออกไปจะทำให้เอนไซม์ทำงานได้ลดน้อยลง เนื่องจากสารตั้งต้นสามารถเคลื่อนที่ได้ช้าและไม่สามารถแพร่ไปยังตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ แต่การที่ไม่มีน้ำอยู่ในตัวอย่างเลยจะทำให้ผิวของตัวอย่างมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น (วิไล, 2543; Bauernfeind, 1981)

การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์

การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่เป็นส่วนประกอบทางเคมีในอาหาร วิธีที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่คือ วิธี Liquid Chromatography โดยการสกัดสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งตัวทำละลายอาจเป็นชนิดเดียวหรือเป็นตัวทำละลายผสม 2 ชนิดที่มีขั้ว (polar) มาก-น้อยแตกต่างกัน และต้องระวังในการเลือกใช้ตัวทำละลายบางชนิดเมื่อผสมกันแล้วอาจได้สารอื่นเกิดขึ้นได้

หลักการพื้นฐานของวิธี Liquid Chromatography คือการให้สารที่ต้องการแยกอยู่ในรูปของสารละลาย โดยนำตัวอย่างมาผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปผ่านสารดูดซับ (stationary phase) ซึ่งสารดูดซับจะอยู่ในรูปใดขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ และวิธี Chromatography ที่ใช้ สารละลายตัวอย่างจะเคลื่อนที่ผ่านสารดูดซับ โดยมีตัวทำละลายพาเคลื่อนที่ไป (mobile phase) สารที่เป็นส่วนประกอบในสารละลายตัวอย่างชนิดใดที่ติดอยู่กับสารดูดซับได้ดี จะเคลื่อนที่ไปบนสารดูดซับได้ช้ากว่าสารที่ติดอยู่กับสารดูดซับได้ไม่ดี ดังนั้นสารประกอบที่ละลายอยู่ในสารละลายตัวอย่างจะแยกออกจากกันได้ ตามความสามารถในการจับอยู่กับสารดูดซับ โดยวิธี liquid chromatography สามารถแบ่งออกได้หลายแบบ ได้แก่ (แม้นและอมร, 2534; Gross, 1987 ; Ball, 1992 ; Reinhard, 1996 ; Rodriguez-Amaya, 2003)

คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Open Column Chromatography) เป็นการบรรจุสารที่สามารถแยกสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายมาแล้ว ตัวอย่างของสารดูดซับที่ใช้ในการบรรจุในคอลัมน์ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel), แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และ MgO-HyfloSupercel (Bauernfeind, 1981 ; Rodriguez-Amaya, 2003) ซึ่งการวิเคราะห์สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ด้วยวิธีนี้จะแยกได้เพียงกลุ่มใหญ่ของแคโรทีนอยด์ คือ แคโรทีนและแซนโทฟิลล์ แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่ยอมรับในการวิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC (2000) (Buckle and Rahman, 1979; Hart and Scott, 1995)

โครมาโทกราฟีแบบผิวบาง (Thin Layer Chromatography, TLC) เป็นการนำสารดูดซับที่ใช้ในการแยกไปเคลือบบนแผ่นกระจก แล้วให้สารละลายตัวอย่างที่สกัดมาวิ่งไปบนแผ่นเคลือบ วิธีนี้สามารถจำแนกสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ได้ถึง ไอโซเมอร์ของมันว่าเป็นชนิด α , β และ γ แต่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าอยู่ในรูปของ *trans form* หรือ *cis form* (Baloch *et al.*, 1997)

โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC) ใช้หลักการในการแยกเหมือนกับ Open Column Chromatography แต่วิธีนี้จะสามารถจำแนกชนิดของสารแคโรทีนอยด์ได้ละเอียดมากถึงระดับที่สามารถแยกรูป *cis* และ *trans form* ได้ (Mercadante *et al.*, 1997) นอกจากนี้เป็นวิธีที่ใช้สารตัวอย่างน้อย (1 กรัมหรือน้อยกว่า) ใช้เวลาใน

การแยกน้อย (Hsieh and Karel, 1983) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากในการแยกสารเชิงปริมาณให้มีความถูกต้อง (Schoefs, 2002)

ก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) วิธีนี้ใช้อุณหภูมิสูงในการแยกสาร จึงไม่นำมาใช้ในการแยกสารแคโรทีนอยด์ เนื่องจากสารแคโรทีนอยด์ที่แยกด้วยวิธีนี้จะไม่เสถียร

วิธีการแยกทั้ง 3 วิธีแรกจะต้องนำสารที่แยกได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสง เพื่อวิเคราะห์ว่าสารที่แยกออกมาได้เป็นแคโรทีนอยด์ชนิดใด และมีปริมาณเท่าใด โดยใช้สมบัติที่ว่าสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดจะสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดแตกต่างกัน และตัวทำละลายต่างชนิดกันก็จะทำให้สารชนิดเดียวกันดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดได้แตกต่างกันด้วย (ตาราง 2.4)

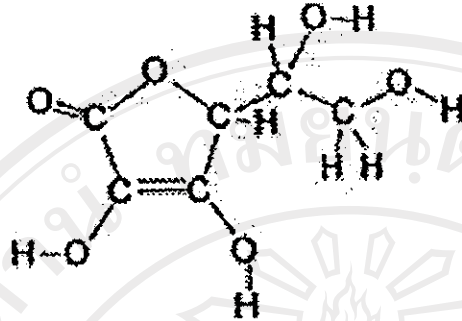
ตาราง 2.4 ค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดแสงสูงสุด (λ_{max} ; nm) ของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ในตัวทำละลายต่างชนิดกัน

แคโรทีนอยด์	λ_{max} (nm.)	ตัวทำละลาย
เบต้า-แคโรทีน (β -carotene)	450	ปีโตรเลียมอีเทอร์
	450	เอทานอล
	452	อะซีโตน
	450	เฮกเซน
แอลฟา-แคโรทีน (α -carotene)	462	ปีโตรเลียมอีเทอร์
	460	เอทานอล
	461	อะซีโตน
	462	เฮกเซน
ไลโคพีน (lycopene)	470	ปีโตรเลียมอีเทอร์
	472	เอทานอล
	474	อะซีโตน
	472	เฮกเซน

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Bauernfeind, 1981 ; Ball, 1992 ; Rodriguez-Amaya, 2003)

2.3.2 วิตามินซี

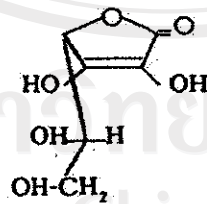
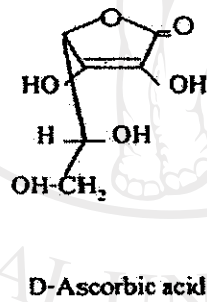
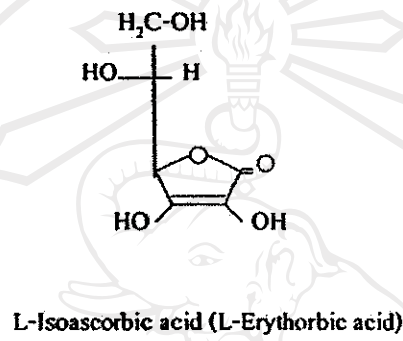
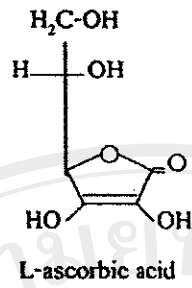
วิตามินซี (Vitamin C) หรือกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นสารอาหารที่จำเป็นในกลุ่มสิ่งมีชีวิตชั้นสูง มีสูตรโมเลกุล $C_6H_8O_6$ และจากการศึกษาโดย X-Ray diffraction ของ L-ascorbic acid พบว่าสูตรโครงสร้างเกือบจะเป็น planar (6) ดังรูป 2.9



รูป 2.9 สูตรโครงสร้างของ Ascorbic acid

วิตามินซี มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีขาว มีจุดหลอมเหลว 190-192 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในน้ำ (1 กรัมละลายในน้ำ 3 มล.) ในเอทิลแอลกอฮอล์ (1 กรัมละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 50 มล.) ละลายได้เล็กน้อยใน propylene glycol และ glycerol ไม่ละลายในตัวทำละลายไขมัน เช่น เบนซีน คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ เป็นสารไม่มีกลิ่น มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย มีค่า specific rotation $[\alpha]_D^{20} = +21$ องศา ในน้ำ และเท่ากับ +48 องศา ในเมทิลแอลกอฮอล์ เป็นกรดที่มีค่า pK1 เท่ากับ 4.17 และ pK2 เท่ากับ 11.57 เมื่อนำมาละลายน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 2 จะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 2.4-2.8 เมื่ออยู่ในสถานะเป็นกลาง Ascorbic acid จะมี absorption maximum ในช่วงอัลตราไวโอเลตที่ 265 nm.

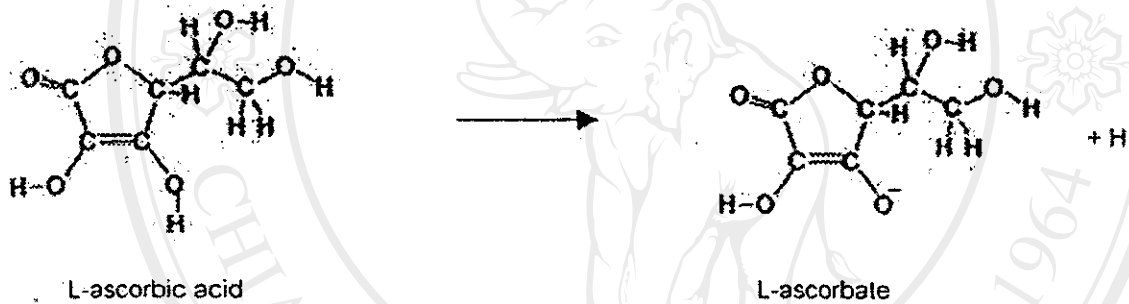
Ascorbic acid มีทั้งหมด 4 stereoisomer (ดังรูป 2.10) สำหรับ D - ascorbic acid สามารถพบเพียงแค่ 1 ใน 10 ของ Ascorbic acid ในรูป L - ascorbic acid และ isoascorbic acid พบเพียงแค่ 1 ใน 20 ของ L - ascorbic acid ทาง FDA ได้กำหนดให้มีการเรียก isoascorbic acid โดยใช้ common name คือ erythrobic acid เพื่อเป็นการป้องกันการสับสนต่อผู้บริโภค (Miller, 1998) สามารถพบวิตามินซีได้ทั้งในธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ วิตามินซีที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่มีสูตรโครงสร้างเป็น L - ascorbic acid มีชื่อที่ใช้เรียกอื่นๆ เช่น hexuronic acid, cevitamin acid, L-xylo-ascorbic acid และ L-threohexono-1, 4-lactono-2-ene เป็นต้น สำหรับวิตามินซีที่ได้จากการสังเคราะห์จะมีสูตรโครงสร้างแบบ L - ascorbic acid ซึ่งมีประสิทธิภาพของวิตามินซีมากกว่าในรูปของ D - ascorbic acid และ isoascorbic acid เท่ากับ 10 และ 20 เท่าตามลำดับ



รูป 2.10 สูตรโครงสร้างของอนุพันธ์ของ Ascorbic acid
(ที่มา : Miller, 1998)

Ascorbic acid จะมีเสถียรภาพ (stable) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นของแข็ง แต่เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นสารละลายจะถูก oxidized ได้ง่ายกลายเป็น Dehydroascorbic acid ความไม่เสถียรภาพในสารละลายนี้จะเริ่มตั้งแต่ pH เท่ากับ 4 และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น การที่กรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย จึงเชื่อว่ากรดแอสคอร์บิกจัดเป็นกรดแอสคอร์บิกที่ไม่เสถียรและบ่อยครั้งที่เรียกกรดแอสคอร์บิกว่า Unstable Vitamin

Ascorbic acid มีความเป็นกรดเล็กน้อย ถึงแม้ว่าจะไม่มี carboxyl group อิศระเหมือนกับสารประกอบอินทรีย์ทั่วไปที่พบในอาหาร Hydrogen ที่เกาะอยู่กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 จัดเป็น acidic hydrogen ดังรูป 2.11 สำหรับด้านที่น่าสนใจอีกประการของ Ascorbic acid คือ เป็นสารประกอบ lactone ที่ไม่เหมือนกับสารประกอบอื่นๆ ทั่วไป lactone คือเอสเทอร์ ซึ่งมีทั้ง carboxyl และ hydroxyl group ที่อยู่บนสารประกอบเดียวกัน



รูป 2.11 แสดงความเป็นกรดของ Ascorbic acid

ประวัติการค้นพบวิตามินซี

เมื่อปี พ.ศ. 2290 ได้มีเหตุการณ์เกิดขึ้นบนเรือซอลเบอร์รี่ ซึ่งนำเจ้าหน้าที่ลาดตระเวนฝั่งทะเลแถบใต้ของอังกฤษ เมื่อเรือออกจากท่าได้ 2 สัปดาห์ ก็เริ่มมีอาการของโรคลักปิดลักเปิด ดอกเตอร์ เจมส์ ลินด์ (James Lind) ได้เคาะสุ่มถึงสาเหตุและลองใช้ยาต่างๆ กันดู ก็ไม่ได้ผล ลูกเรือตายอยู่เรื่อยๆ

ดร. ลินด์ ได้วางแผนการทดลอง โดยแบ่งคนเจ็บที่เป็นโรคนี้ออกเป็นหมู่ๆ ทุกคนนอนแห่งเดียวกัน กินอาหารอย่างเดียวกัน แต่มีรายการเพิ่มเติมต่างกันในทุกหมู่เป็นประจำ ได้แก่

หมู่ที่ 1 ดื่มน้ำผลไม้เปรี้ยว

หมู่ที่ 2 รับประทานน้ำส้มสายชู

หมู่ที่ 3,4 รับประทานยารักษาโรค 2 ชนิดต่างกัน

หมู่ที่ 5 ดื่มน้ำทะเลหลังอาหาร

หมู่ที่ 6 รับประทานน้ำส้มและมะนาว

ผลปรากฏว่า พวกที่รับประทานน้ำส้มและมะนาวกลับแข็งแรงหลังจากนั้น 6 วัน แม้อาการต่างๆ จะหายไม่หมดก็ตาม

ดังนั้น ดร.ลินด์ จึงเป็นคนแรกที่สามารถรักษาโรคโลหิตจางได้โดยอาหาร

ปี พ.ศ. 2338 ราชนาวิอังกฤษได้ออกกฎหมายให้กะลาสีเรือดื่มน้ำมะนาววันละ 1 ออนซ์ จึงไม่ปรากฏว่ากะลาสีเรือผู้ใดเป็นโรคโลหิตจางอีกเลย

พ.ศ. 2426 Sir Thomas Barlow แสดงให้เห็นว่า โรคโลหิตจางในเด็กทารกมีโอกาสเกิดและมีอาการเหมือนโรคโลหิตจางในผู้ใหญ่

พ.ศ. 2449 Hoplein ได้ตั้งสมมติฐานว่า การเกิดโรคโลหิตจางเนื่องมาจากการขาดอาหารที่จำเป็นบางชนิด

พ.ศ. 2450 Holst and Frolich ได้ทดลองควบคุมอาหารที่ใช้เลี้ยงหนูตะเภา ปรากฏว่าหนูเกิดโรคโลหิตจาง ต่อมา Zilva และนักชีวเคมีอื่นๆ ได้เริ่มทำการค้นคว้าเกี่ยวกับธรรมชาติและโครงสร้างของวิตามินซี

พ.ศ. 2471 Szont-Gyorgi ได้แยกเอา hexuronic acid ออกมาจาก cortex and Tillmans ได้เสนอแนะว่าสารนี้สามารถรีดิวซ์ 2, 6-dichlorophenol indophenol ได้

พ.ศ. 2475 Waugh and King ได้แยกและตกผลึกวิตามินซีจากมะนาว (lemon) แล้วพิสูจน์ว่าสารนี้คือ hexuronic acid ที่ Szont-Gyorgi แยกได้

พ.ศ. 2476 Hirst และผู้ร่วมงานได้พบสูตรโครงสร้างของวิตามินซีและได้ร่วมกับ Recheim กับคณะสังเคราะห์ Ascorbic acid

Szent-Gyorgi และ Harworth ได้เสนอชื่อของวิตามินซีว่า กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ซึ่งขณะนั้น Council on Pharmacy and Chemistry of The American Medical Association ได้ใช้ชื่อว่า "Covitanic" แต่พอปี พ.ศ. 2482 ชื่อนี้ได้เลิกกันไป ปัจจุบันใช้ชื่อว่า "Ascorbic acid"

วิตามินซีจำเป็นต่อร่างกายเพราะเป็นสารที่ช่วยในการยึดติดระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อในร่างกาย ซึ่งจากหน้าที่นี้ของวิตามินซี จึงสามารถระบุได้ว่า วิตามินซีช่วยป้องกันการอักเสบและป้องกันการเลือดออกตามไรฟัน เส้นโลหิตแตกระหว่างเนื้อเยื่อ และป้องกันโรคโลหิตจาง วิตามินซีจะช่วยพัฒนาโครงสร้างของกระดูก

วิตามินซีเป็นสารที่จำเป็นแก่ร่างกายมาก ซึ่งถ้าร่างกายขาดแล้วอาการที่พบจากการทดลองในมนุษย์ คือ เริ่มด้วยความรู้สึกอ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย ความสนใจในสิ่งต่างๆ หดหายไป หายใจหอบ ปวดตามกระดูก ตามข้อและตามกล้ามเนื้อ ผิวหนังเริ่มแห้ง หยาบ ลึกล้ำลง ต่อมาจะมีรอยช้ำเขียว ตามขา สะโพก แขน หลัง ตามขนุนขนต่างๆ จะมีรอยผื่นแดงเป็นจุดๆ พบตาม แขน ขา และบางที่ ลามไปจนถึงรอบข้อเท้าหรืออาจเกิดตามรอยที่เกาหรือบริเวณที่มีการกดหรือ การเสียดสี เมื่อถึงระยะนี้มักจะมีเส้น โลหิตแตกตามข้อ ทำให้มีการปวดมาก อาการทางเหงือก จะเริ่มด้วยเหงือกแดง บวมพรุนและเปื่อย มักจะมีโลหิตซึม เคลื่อนไหวข้อไม่ได้และเจ็บเสมอ ถ้าอาการเป็นการและนานเข้า การอักเสบก็จะถูกลามไปถึงเคลือบฟันและเนื้อฟัน ทำให้ฟันเสีย โยกและหลุดได้

หน้าที่และประโยชน์ของวิตามินซีต่อร่างกายที่แท้จริงยังไม่ทราบแน่ แต่เมื่อเรารับประทานอาหารที่มีวิตามินซีเข้าไปจะถูกดูดซึมได้มากที่สุดที่ลำไส้เล็ก ซึ่งปกติประมาณร้อยละ 50-75 ของจำนวนวิตามินซีที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกทำลายเสมอ Ascorbic acid อยู่ในสภาพของสารที่มีประสิทธิภาพ 2 สาร คือ L- ascorbic acid และ Dehydroascorbic acid ถ้าอยู่ในสภาพของ L- ascorbic acid เป็น Reduced form ส่วน Dehydroascorbic acid เป็นสภาพ oxidized form ทั้ง 2 สภาพนี้สามารถเปลี่ยนกลับซึ่งกันและกันได้ อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็น 2,3-diketogulonic acid ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็น oxalic acid และ L-threonic acid

การเปลี่ยนแปลงนี้อาศัยสารช่วยหลายสาร เช่น การเปลี่ยนจาก L- Ascorbic acid ไปเป็น Dehydroascorbic acid อาศัยพวกสารเร่งต่างๆ ได้แก่ ทองแดง, เกลือเหล็ก, quinone, ascorbic oxidase, polyphenol oxidase, peroxidase ในการเปลี่ยนจาก Dehydroascorbic acid ไปเป็น L - ascorbic acid อาศัย DPN, TPN, glutathione และสารที่มี sulhydryl group อยู่ในโมเลกุล เมื่อ Ascorbic acid เปลี่ยนเข้าระยะเป็น 2,3-diketogulonic acid แล้วข้อมหอดประสิทธิภาพจะเป็นวิตามินซี จากกรณีนี้จะเปลี่ยนต่อไปเป็น oxalic acid ซึ่งจะถูกขับออกมาทางปัสสาวะและ L-threonic acid ซึ่งจะถูกลอกซิไคซ์ต่อเข้าไปในวัฏจักรเครป วิตามินซีอาจพบได้ในเซลล์ และเนื้อเยื่อทุกชนิดของร่างกาย โดยเฉพาะในอวัยวะที่มี metabolically active มากๆ เช่น ตับ ไต ม้าม สมอง อวัยวะสืบพันธุ์และต่อมต่างๆ วิตามินซีมีมากเป็นพิเศษในต่อมหมวกไต (adrenal gland) ฉะนั้นวิตามินซีจึงมีความสำคัญต่อการทำงานของอวัยวะต่างๆ ปฏิกริยาเคมีหลายอย่างที่เกิดขึ้นในร่างกายต้องใช้วิตามินซี เพราะวิตามินซีเป็น reducing agent อย่างแรง นอกจากนี้วิตามินซียังช่วยให้ผลหายเร็ว ช่วยให้เหงือกและฟันสมบูรณ์ ทำให้ร่างกายมีความต้านทานโรคได้ดี

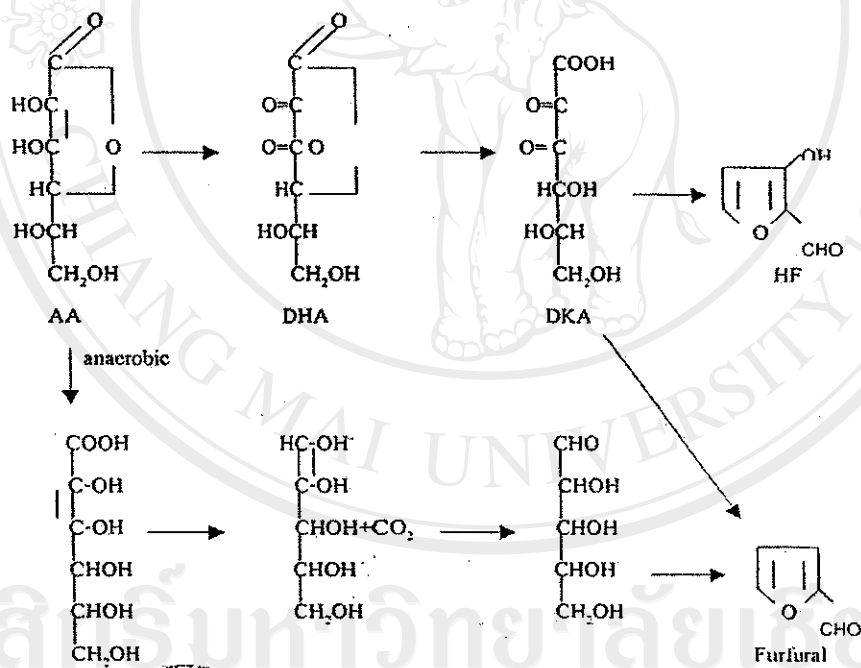
ความต้องการวิตามินซีของร่างกายนั้น พบว่าผู้ใหญ่ต้องการวันละ 100 มิลลิกรัม เด็กต้องการวันละประมาณ 25-50 มิลลิกรัม หญิงในระยะตั้งครรภ์และระยะเลี้ยงทารกด้วยน้ำนม ต้องการวิตามินซีมากกว่าปกติหลายเท่า

การสลายตัวของวิตามินซี (Degradation of vitamin C)

การสลายตัวของวิตามินซีเกิดได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจน (oxidative degradation) และไม่มีออกซิเจน (anaerobic degradation) ดังนี้

1. การสลายตัวที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation)

วิตามินซีในรูปของ Ascorbic acid สลายตัวได้ง่ายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ ดังรูป 2.15 เมื่อ Ascorbic acid ใต้ โดยปฏิกิริยารีดักชันในสภาพที่เป็นกลางหรือเป็นเบส อย่างไรก็ตามหาก DHAA ถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น 2,3-diketogulonic acid (DKA) จะทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีเนื่องจาก DKA ไม่มีคุณสมบัติเป็นวิตามินซี DKA สามารถเปลี่ยนต่อเป็น hydroxyfurfural (HF) หรือ furfural ซึ่งไม่มีคุณสมบัติเป็นวิตามินซีเช่นกัน ส่วนมากปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีมักเกิดภายใต้สภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ได้แก่ เอนไซม์ และโมเลกุลของโลหะหนักบางชนิด



รูป 2.15 ปฏิกิริยาการสลายตัวของวิตามินซี

(ที่มา : Miller, 1998)

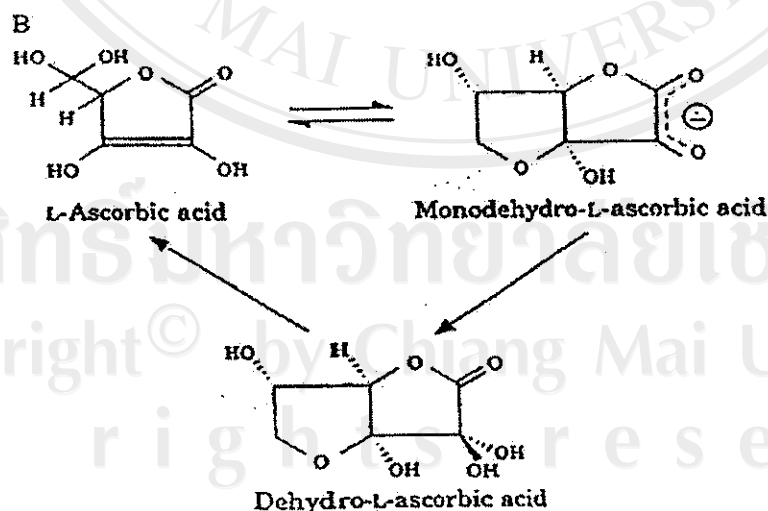
อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่วิตามินซีละลายอยู่ในน้ำ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีสามารถเกิดได้แม้ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่า auto-oxidation อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดได้อย่างช้าๆ ทั้งนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับ pH ของสารละลายที่วิตามินซีละลายอยู่ อัตราการเกิดปฏิกิริยาดำเมื่อสารละลายเป็นกรด และเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีความเป็นด่าง

2. การสลายตัวในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic degradation)

นอกจากการสลายตัวของวิตามินซีโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว วิตามินซียังสามารถสลายตัวได้แม้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนแต่อัตราการสลายตัวจะต่ำกว่าการสลายตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมาก

วิตามินซีในผักผลไม้ (Vitamin C in fruits and vegetables)

เนื่องจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมบางชนิด นกบางชนิด ปลา แมลง รวมทั้งมนุษย์ ไม่สามารถสังเคราะห์ L-ascorbic acid ได้ เนื่องจากขาดเอนไซม์ L-gulonolactone oxidase ที่ใช้ในการเปลี่ยน L-gulonolactone ไปเป็น 2-keto-L-gulonolactone จึงต้องรับวิตามินซีจากการรับประทานอาหาร แหล่งของวิตามินซีที่สำคัญสำหรับมนุษย์ คือ ผักและผลไม้ สามารถพบวิตามินซีปริมาณสูงในผลฝรั่ง blackcurrent ผลไม้ตระกูลส้มและผักอีกหลายชนิด พบวิตามินซี 3 รูปแบบ ในผักและผลไม้ ได้แก่ reduced ascorbic acid และ DHAA โดยทั้ง 3 รูปแบบมีความสัมพันธ์กัน ดังรูป 2.16 reduced ascorbic acid เมื่อถูกออกซิไดซ์จะกลายเป็น mono-hydroascorbic acid แต่ mono-hydroascorbic acid นั้นไม่เสถียรจึงถูกเปลี่ยนเป็น Dehydro-L-ascorbic acid (DHA) ซึ่งเสถียรมากกว่า วิตามินซีที่พบในผักผลไม้มีปริมาณร้อยละ 90 อยู่ในรูป reduced ascorbic acid อย่างไรก็ตามปริมาณวิตามินซีในรูปต่างๆ ขึ้นกับอายุของผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยว เช่น ในผลไม้เชื้เทศที่เริ่มสุกจะมีปริมาณ reduced ascorbic acid เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ Dehydroascorbic acid (DHAA) มีปริมาณลดลง



รูป 2.16 ความสัมพันธ์ของวิตามินซีรูปแบบต่างๆ ในผักและผลไม้

(ที่มา : Miller, 1998)

ปัจจัยที่ผลต่อการสลายตัวของวิตามินซี

1. อุณหภูมิเก็บรักษา

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่ออัตราการสลายตัวของวิตามินซีในผักและผลไม้ การเพิ่มอุณหภูมิเก็บรักษาจะทำให้วิตามินซีสลายตัวมากขึ้น จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสลายตัวของวิตามินซีกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาของน้ำองุ่น น้ำมะนาว และน้ำส้ม โดยอัตราการสลายตัวของวิตามินซีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้น (Nindo, C.I., Powers, J.R. and Tang, J., 2007)

2. ระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage time)

การเก็บรักษาผักและผลไม้สดหรือน้ำผลไม้คั้น มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการสลายตัวของวิตามินซี โดยการเก็บรักษาเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการสลายตัวของวิตามินซีมากขึ้น

3. การหั่นและการตัดแต่ง (Cutting and trimming)

การหั่น การตัดแต่งผักผลไม้ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี และทำให้วิตามินซีในเซลล์พืชมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ได้มากกว่าผลไม้ที่ไม่ผ่านการแปรรูป จึงส่งผลให้มีพืชที่ผ่านการแปรรูปมีปริมาณวิตามินซีลดลง

4. บรรยากาศที่ใช้เก็บรักษา (Storage atmosphere)

การลดปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศที่ใช้เก็บรักษาผักผลไม้หรือน้ำส้มคั้นสามารถชะลอการสลายตัวของวิตามินซีได้ เนื่องจากออกซิเจนทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์วิตามินซีเป็น DHA และ DKA เมื่อมีออกซิเจนน้อยลงจึงทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้น้อยลงส่วนการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์นั้น รายงานการวิจัยส่วนใหญ่พบว่าไม่สามารถชะลอการลดลงของวิตามินซีได้

5. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วิตามินซีซึ่งอยู่ในสารละลายที่เป็นกรดจะมีอัตราการสลายตัวต่ำกว่าวิตามินซีที่อยู่ในสารละลายที่มีสถานะเป็นด่างหรือเป็นกลาง ทั้งนี้ น่าจะเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล ในกรดอาจจะไปทำปฏิกิริยา chelation กับ Cu^{2+} มีผลต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Cu^{2+} โดยส่วนมากพบว่าอัตราการสลายตัวของวิตามินซีในผลไม้หรือน้ำคั้นมักช้ากว่าในผัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลไม้หรือน้ำคั้นมีความเป็นกรดสูงกว่าในผัก

6. การเติมสารเคมี (Chemical additives)

การเติมสารในกลุ่มฮาโลเจน เช่น คลอไรด์หรือโบรไมด์ มีผลชะลอการลดลงของวิตามินซี เนื่องจากสารในกลุ่มฮาโลเจนไปลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยยับยั้งการจับกันระหว่าง Cu^{2+} กับวิตามินซี

7. การแปรรูป (Processing)

วิตามินซีในผักผลไม้และน้ำคั้น มีรายงานว่า การแช่แข็งจะสามารถชะลอการสลายตัวของวิตามินซีได้ นอกจากนี้ ปริมาณวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ยังเพิ่มขึ้นหลังจากกระบวนการแช่แข็ง โดยในโตรเจนเหลว ส่วนการลวกน้ำร้อน และการทำพาสเจอไรซ์นั้น สามารถชะลอการลดลงของวิตามินซีระหว่างการเก็บรักษาได้ เนื่องจากการลวกน้ำร้อนและการทำพาสเจอไรซ์มีผลไปทำลายเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซี แต่ก็ส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้ก่อนการเก็บรักษามีค่าลดลง เนื่องจากวิตามินซีละลายออกมาในน้ำขณะที่ลวกน้ำร้อน และวิตามินซีเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนในระหว่างการทำพาสเจอไรซ์ (George, 1998)

การชะลอการสลายตัวของวิตามินซี

การชะลอการสลายตัวของวิตามินซีมีหลายวิธี เช่น การใช้อุณหภูมิต่ำ, การจัดการระหว่างการตัดแต่ง, การควบคุมบรรยากาศที่ใช้เก็บรักษาโดยใช้เทคนิค Controlled Atmosphere (CA), Modified Atmosphere (MAP) หรือการเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศ นอกจากนี้ การเติมสารเคมีเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เช่น สารประกอบฮาโลเจน, น้ำตาล, การปรับ pH รวมทั้งการทำให้เข้มข้น ก็สามารถนำมาใช้ชะลอการสลายตัวของวิตามินซีได้ การแช่แข็งและการลวกน้ำร้อนต่างเป็นวิธีที่มีรายงานถึงความสำเร็จในการชะลอการลดลงของวิตามินซี

2.4 การบรรจุ (Packaging) เป็นศาสตร์ ศิลป์ และ เทคโนโลยีในการจัดเก็บและป้องกันผลิตภัณฑ์ เพื่อการจัดส่ง จัดเก็บ การขาย และการใช้ การบรรจุยังหมายถึงกระบวนการออกแบบ ประเมิน และผลิตบรรจุภัณฑ์อีกด้วย ฉลากบรรจุภัณฑ์สามารถทำได้ โดยการเขียนด้วยมือ ใช้อิเล็กทรอนิกส์ หรือใช้กราฟฟิค เพื่อการสื่อสารอีกด้วย

ในชีวิตประจำวัน การบรรจุมีส่วนอย่างมากในชีวิตประจำวัน เราสามารถพบเห็นได้ทั่วไปรอบๆ ตัวเรา อย่างเช่น กล่องช็อคโกแลต หรือห่อมันฝรั่งทอด และคิงที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น การทำบรรจุภัณฑ์มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ภายในเสียหาย แต่ตัวบรรจุภัณฑ์เองก็ยังเป็นตัวบ่งบอกเอกลักษณ์ของสินค้านั้นๆ อย่างเช่น โลโก้ เป็นต้น เพื่อให้รู้ว่าสินค้าภายในนั้นเป็นอะไร

จุดประสงค์ของการบรรจุและฉลากบรรจุ

- เพื่อการป้องกันทางกายภาพ (Physical Protection) วัตถุประสงค์ที่นำมาปิดในบรรจุภัณฑ์นั้นอาจต้องการการปกป้องจากปัจจัยต่างๆ เช่น การกระแทก การสั่นสะเทือน การกดทับ อุณหภูมิ เป็นต้น

- เพื่อการสร้างขอบเขตในการปกป้อง (Barrier Protection) โดยทั่วไปใช้เป็นตัวกันผลิตภัณฑ์จาก ออกซิเจน ไอน้ำ ฝุ่น การทำให้บรรจุภัณฑ์กันอากาศหรือน้ำเข้าได้เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบ บางบรรจุภัณฑ์บรรจุตัวดูดความชื้น (Oxygen Absorbers) ไว้ภายใน เพื่อช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์
- เพื่อการรวบรวมเป็นหน่วยเดียวกัน (Containment or Agglomeration) วัสดุเล็กๆ หลายๆ ชิ้นนั้น สามารถนำมารวมกันได้ ในบรรจุภัณฑ์เดียว อย่างเช่น กล่องดินสอกล่องเดียวที่บรรจุดินสอ 1,000 แท่ง ใช้พื้นที่หรือการหอบหิ้วน้อยกว่า ดินสออย่างเดียวกว่า 1,000 แท่ง
- เพื่อใช้บ่งบอกชี้แจงข้อมูลของผลิตภัณฑ์ (Information Transmission) โดยปกติจะบอกข้อมูลสินค้าหรือวิธีใช้ วิธีขนส่ง รีไซเคิล หรือกำจัด และบางประเภทจะต้องมีข้อมูลตามที่รัฐบาลหรือหน่วยงานกำหนดไว้
- เพื่อการตลาด (Marketing) บรรจุภัณฑ์และฉลากสามารถใช้เป็นสื่อทางการตลาดเพื่อดึงดูดผู้ซื้อให้ซื้อผลิตภัณฑ์ได้ การออกแบบบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนสำคัญและมีส่วนในการตลาดมาเป็นเวลานานแล้ว เชื่อว่าบรรจุภัณฑ์มีส่วนสำคัญซึ่งสามารถใช้เป็นสื่อและเป็นจุดขายให้กับผู้บริโภคได้
- เพื่อลดการสูญหาย (Reducing Theft) ผลิตภัณฑ์ถูกส่งต่อไปหลายทอดในระบบ supply chain ผู้ขนส่งสามารถขโมยสินค้า สลับสับเปลี่ยนสินค้าได้ จะมีประโยชน์มากสำหรับป้องกันเหตุการณ์นี้ สำหรับตัวบรรจุภัณฑ์ที่เปิดแล้วไม่สามารถปิดใหม่ได้อีก (re-closed) หรือได้รับความเสียหายเมื่อหีบห่อบรรจุภัณฑ์ถูกเปิดแล้ว เป็นต้น
- เพื่อความสะดวก (Convenience) ตัวบรรจุภัณฑ์ที่มีประโยชน์ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การจับถือ การแสดง การขาย การเปิด การปิด การใช้ และการนำกลับมาใช้ใหม่

ประเภทของบรรจุภัณฑ์จำแนกตามวัสดุ (ปูน และสมพร, 2541)

บรรจุภัณฑ์สามารถแบ่งแยกได้หลายรูปแบบ แต่บรรจุภัณฑ์หลักๆ ที่ใช้บรรจุสิ่งของทั่วไปที่มีขนาดเล็กๆ จะเรียกได้ว่าเป็น บรรจุภัณฑ์หลัก (primary package) ซึ่งจะเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุสิ่งของโดยตรง อีกประเภทหนึ่งเรียกว่า บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง (transport package or distribution package) ซึ่งจะใช้บรรจุสำหรับการขนส่ง จัดเก็บ และบรรจุ สินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ภายในอีกชั้นหนึ่ง

บรรจุภัณฑ์แยกตามวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตได้ 4 ประเภท คือ

เยื่อและกระดาษ เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มากที่สุดและมีแนวโน้มใช้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากการรีไซเคิลได้ง่าย ปัจจุบันกระดาษที่ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์มีหลายประเภท และสามารถ

พิมพ์ตกแต่งได้ง่ายและสวยงาม นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการขนส่งจากผู้ผลิตไปยังผู้ใช้ เนื่องจากสามารถพับได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อันเนื่องมาจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของการผลิตกระดาษ และมีการทำป่าปลูกเพื่อนำมาใช้ในส่วนของวัตถุดิบการผลิตกระดาษอีกด้วย

พลาสติก เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงมาก คุณสมบัติของพลาสติก คือมีน้ำหนักเบา ป้องกันการซึมผ่านของอากาศและก๊าซได้ระดับหนึ่ง สามารถต่อต้านการทำลายของแบคทีเรียและเชื้อรา มีคุณสมบัติหลายอย่างที่สามารถเลือกใช้ในงานที่เหมาะสม พลาสติกบางชนิดยังเป็นฉนวนกันความร้อนอีกด้วย ในปัจจุบันนี้มีพลาสติกที่ใช้กันอยู่เป็นร้อยๆ จำพวก ดังตาราง 2.5 และแต่ละจำพวกยังอาจแยกตามน้ำหนักโมเลกุลและความหนาแน่น ตัวอย่างพลาสติก PE (Polyethylene) สามารถแยกได้ตั้งแต่ LLDPE (Linear Low Density Polyethylene), LDPE (Low Density Polyethylene), MDPE (Medium Density Polyethylene), HDPE (High Density Polyethylene) และ PP (Polypropylene) เป็นต้น

ตาราง 2.5 ประเภทของพลาสติกโดยทั่วไป

ประเภท	การใช้งาน
Polyethylene (PE)	จัดอยู่ในกลุ่มราคาถูก ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ถุงซูปเปอร์มาร์เก็ต ขวดพลาสติก เป็นต้น
Polypropylene (PP)	ใช้ทำ ภาชนะบรรจุอาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า กันชนรถยนต์
Polystyrene (PS)	ใช้ทำ ภาชนะบรรจุอาหาร ถ้วยจานแบบใช้ครั้งเดียว แผ่นซีดี
High impact polystyrene (HIPS)	วัสดุในตู้เย็น กล่องบรรจุอาหาร แก้วพลาสติก
Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (จอยคอมพิวเตอร์ พรีนเตอร์ คีย์บอร์ด)
Polyethylene terephthalate (PET)	ขวดน้ำอัดลม ฟิล์มพลาสติก ภาชนะที่ไม่โครเวฟได้
Polyester (PES)	ไฟเบอร์ และ textiles
Polyamides (PA) (Nylons)	ไฟเบอร์ ขนแปรงสีฟัน เอ็นटकปลา

ตาราง 2.5 (ต่อ)

ประเภท	การใช้งาน
Polyvinyl chloride (PVC)	ท่อน้ำ ฝ้าย่านอาบน้ำ กรอบหน้าต่าง ชุดหนัง
Polyurethanes (PU)	โฟมฉนวน ลูกกอล์ฟ
Polycarbonate (PC)	แผ่นซีดี แว่นตา โลโก้ ไฟจราจร เลนส์
Polyvinylidene chloride (PVDC)	ใช้ทำ ภาชนะบรรจุอาหาร
Bayblend (PC/ABS) A blend of PC and ABS that creates a stronger plastic	ชิ้นส่วนภายในรถยนต์

(ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/Plastic>)

1. PE (Polyethylene) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดและราคาถูก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ PE แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1.1 LDPE (Low Density Polyethylene) เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่าถุงเย็น มักใช้ทำถุงฟิล์มหัดและฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น คุณสมบัติเด่น คือยืดตัวได้ดี ทนต่อการตีบทะลุและฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี

1.2 LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) นิยมใช้เป็นชั้นป้องกันความชื้น โดยการเคลือบกับ PE และมีความขุ่นกว่า LDPE

1.3 HDPE (High Density Polyethylene) ใช้ผลิตเป็นถุงร้อน ซึ่งมีสีขาวขุ่น นิยมใช้เป็นขวด เนื่องจากความหนาแน่นที่สูงจึงมีความเหนียวและทนต่อการซึมผ่านได้ดี แต่ยังไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีนัก

2. PET (Polyethylene Terephthalate) คือ พลาสติกชนิดที่นำมาทำขวดบรรจุน้ำอัดลม โดยมีคุณสมบัติพิเศษที่ใสแวววับเป็นประกายมีการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงนำมาเป็นซองบรรจุอาหารที่มีความไวต่อก๊าซ เช่น อาหารขบเคี้ยว และสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มทนแรงยืดและแรงกระแทกเสียดสีได้ดี จุดหลอมเหลวสูง แต่ข้อด้อย คือ ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนและเปิดฉีกยาก ทำให้โอกาสใช้ฟิล์ม PET อย่างเดียวน้อยมาก แต่มักใช้เคลือบชั้นกับพลาสติกอื่นๆ ในงานวิจัยที่ศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์พบว่า การเก็บน้ำนมพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ขวด PET จะมีการสูญเสียวิตามินเอสูงกว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดอื่น หลังจากเก็บรักษานาน 7 วัน (Zygoura *et al.*, 2004)

แก้ว เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความยืดต่อการทำปฏิกิริยากับสารเคมีชีวภาพต่างๆ เมื่อเทียบกับวัสดุบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ และรักษาคุณภาพสินค้าได้ดีมาก ข้อดีของแก้วคือมีความใสและทำเป็นสีต่างๆ ได้ สามารถทนต่อแรงกดได้สูงแต่เปราะง่าย ในด้านสิ่งแวดล้อม แก้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง อาจถึง 100 ครั้ง และสามารถหมุนเวียนนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้

มาตรฐานสีของขวดแก้วที่นิยมผลิตมีอยู่ 3 สี คือ

1. สีใส (Flint glass or clear glass) นิยมใช้มากที่สุด
2. สีอำพัน (Brown or amber glass) สีของขวดแก้วประเภทนี้ออกเป็นสีน้ำตาล ซึ่งสามารถกรองแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี
3. สีเขียว (Green glass) มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับสีอำพัน มักจะใช้กับอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

โลหะ ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร วัสดุโลหะที่ใช้มี 2 ชนิด คือ

- **เหล็กเคลือบดีบุก** เป็นบรรจุภัณฑ์ที่แข็งแรงป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อมและสภาวะอากาศ การลงทุนในการผลิตไม่สูงนักและไม่สลับซับซ้อน สามารถใช้บรรจุอาหารได้ดี เนื่องจากสามารถปิดผนึกได้สนิทและฆ่าเชื้อได้ด้วยความร้อน โดยทั่วไปจะผลิตเป็นกระป๋องสามารถกันอากาศเข้าได้ (Air-tight) เพื่อป้องกันการเน่าเสีย เช่นผลิตภัณฑ์จำพวก นม
- **อะลูมิเนียม** มักจะใช้ในรูปแบบเปลวอะลูมิเนียมหรือกระป๋อง มีน้ำหนักเบา อีกทั้งมีความแข็งแรงทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ก๊าซ แสง และกลิ่นรสได้ดี ในรูปของเปลวอะลูมิเนียมมักใช้เคลือบกับวัสดุอื่นซึ่งให้ภาพลักษณ์ที่ดี เนื่องจากความเงาแวบของอะลูมิเนียมและเป็นตัวเหนียวนำความเย็นได้ดี ทำให้ส่วนใหญ่นิยมใช้บรรจุเครื่องดื่ม

วัตถุประสงค์หลักของบรรจุภัณฑ์ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารให้ยาวนานขึ้น และสามารถรักษาคุณภาพของอาหารให้คงอยู่จนกระทั่งบริโภคหมด (ปุ่น และสมพร, 2541)