

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 ฟักทอง

ฟักทอง (pumpkin) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Cucurbitaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Cucurbita mosehata* Decne เป็นพืชอายุปีเดียว (annual) มีทั้งแบบลำต้นเลื้อยและเป็นพุ่มเตี้ย อายุปลูกตั้งแต่หยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวผลประมาณ 120-180 วัน แล้วแต่พันธุ์หนักหรือพันธุ์เบา แหล่งปลูกที่สำคัญ คือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดที่ปลูกมากที่สุดคือ จังหวัดศรีสะเกษ รองลงมา คือ จังหวัดอุดรธานี และจังหวัดสกลนคร ตามลำดับ ฟักทองสามารถขึ้นได้ดีในดินแทบทุกชนิดแต่ชอบดินปนทรายมีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5-6.0 หรือเป็นกรดเล็กน้อย ในประเทศไทยส่วนมากปลูกพันธุ์เลื้อย และที่นิยมปลูกมากคือพันธุ์พื้นเมือง หรือพันธุ์คางคก ซึ่งมีลักษณะผิวภายนอกขรุขระ สีผลเขียวปนเหลือง เนื้อเหนียวมัน รสชาติดี ฤดูปลูกฟักทองอยู่ในช่วงปลายฤดูฝนหรือฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ (อารมณื เทศแก้ว, 2532)

ฟักทองจะประกอบด้วยคุณค่าทางสารอาหารหลายชนิด ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ วิตามิน ดังแสดงในตาราง 2.1 ซึ่งมีในส่วนของเนื้อฟักทอง (กองโภชนาการ, 2535)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทอง ต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร (หน่วย)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	124
โปรตีน (กรัม)	2.9
ไขมัน (กรัม)	1.5
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	24.6
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	21
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	17
เหล็ก (มิลลิกรัม)	4.9
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	3266
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.1
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.05
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	11
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	62

ที่มา : กองโภชนาการ (2535)

## 2.2 เครื่องดื่มน้ำผัก (Tressler และ Joslyn, 1971)

เครื่องดื่มน้ำผักเป็นเครื่องดื่มที่ผู้บริโภคมุ่งเน้นถึงคุณค่าทางโภชนาการ ผักที่นำมาใช้ผลิตเครื่องดื่มน้ำผักจะมีความแตกต่างกันได้หลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากวัตถุดิบที่มีความเป็นกรด เช่น น้ำมะเขือเทศ และ น้ำผักบุบ (rhubarb juice) เป็นต้น ซึ่งอาจจะผ่านความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดเท่านั้น
2. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากการผสมกับวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดสูง ได้แก่ น้ำซิตรัส (citrus juice) น้ำมะเขือเทศ น้ำกะหล่ำปลีคอง น้ำผักบุบ โดยใช้ น้ำมะเขือเทศ เป็นส่วนผสมขั้นต้น (primary ingredient)
3. เครื่องดื่มน้ำผักที่ถูกเตรียมจากการเติมกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดฟอสฟอริก เพื่อลดความเป็นกรดเป็นด่าง ทำให้กรรมวิธีการผลิตต่อไปง่ายขึ้น ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมคือ 4.2 หรือต่ำกว่า

4. เครื่องต้มน้ำผักที่ได้จากน้ำผักดองต่าง ๆ โดยนำมากรองและผ่านกรรมวิธีการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงนัก เพื่อผลิตเป็นเครื่องต้ม เช่น น้ำกระหล่ำปลีดอง

5. เครื่องต้มน้ำผักที่สกัดจากผักที่มีความเป็นกรดต่ำ ส่วนมากเป็นเครื่องต้มเพื่อสุขภาพ มักจะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอนปริโคค ได้แก่ น้ำแครอท น้ำผักโขม น้ำหน่อไม้ฝรั่ง น้ำหัวบีท น้ำหัวหอม และน้ำกระเทียม

Bates (1971) ได้ผลิตน้ำคั้นถ่ายที่ผ่านการหมักให้เกิดกรดแลคติก โดยน้ำคั้นถ่ายที่ได้มีปริมาณกรด 0.7-1.2 % ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.5-3.8 เดิมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 2.25 % และน้ำตาลซูโครส 2.0 % เพื่อพัฒนารสชาติ เมื่อนำมาบรรจุกระป๋อง ฆ่าเชื้อ พบว่าน้ำคั้นถ่ายได้รับการยอมรับในด้านรสชาติและลักษณะปรากฏ เป็นเวลาอย่างน้อย 18 เดือน นอกจากนั้น น้ำคั้นถ่ายที่ได้ยังสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในน้ำผักผสมอื่น ๆ ได้อีกด้วย

Mordkovich และคณะ (1971) ได้ผลิตอาหารเด็กกระป๋องและอาหารเพื่อสุขภาพจากการนำน้ำผักและผลไม้ ซึ่งมีคุณค่าทางอาหาร ประกอบด้วย มะเขือเทศ พักทอง แครอท และพริกฝรั่ง (sweet pepper) ผสมกับน้ำแอปเปิ้ล หรือน้ำพลัม (plum) ผลิตกันชนที่ได้จะมีปริมาณแคโรทีน และวิตามินบีหนึ่ง แร่ธาตุจำเป็น และเพคตินสูง รวมทั้งยังมีกลิ่นรสดีและได้รับการยอมรับสูง

Gronowska, Okun และ Berger (1976) ได้ผลิตน้ำผักและผลไม้ผสมต่าง ๆ สำหรับเด็ก โดยศึกษาปริมาณแคโรทีนในน้ำผักและผลไม้ผสมแต่ละชนิด พบว่าในน้ำผักผลไม้ผสมมีปริมาณแคโรทีน ดังนี้ แอปริคอต/แอปเปิ้ล/พักทอง 0.7 มิลลิกรัม/100 กรัม, แครอท/มะนาว 2.0 มิลลิกรัม/100 กรัม, กัลว่ย/แอปเปิ้ล/แครอท 0.7 มิลลิกรัม/100 กรัม, แอปเปิ้ล/พักทอง 0.3 มิลลิกรัม/100 กรัม และ แครอท/แอปเปิ้ล/แอปริคอต 1.5 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำผักผลไม้ผสมมีปริมาณแคโรทีนอยู่ในระดับที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของผักที่นำมาผสม

Sims, Balaban และ Matthews (1993) ได้ทดลองผลิตน้ำแครอท พบว่าวิธีที่เหมาะสมคือ การให้ความร้อนแครอทที่อุณหภูมิ 93 °C นำมาบด แล้วผ่านตะแกรงขนาด 3.2 มิลลิเมตร ปรับความเป็นกรดเป็นด่างเป็น 4 หรือ 5 ด้วยสารละลายกรดซิตริก 50 % แล้วนำมาสกัดน้ำ จากการทดลองพบว่าน้ำแครอทที่ได้มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 3,128 ไมโครกรัม/100 กรัม

### 2.3 สารประกอบเพคตินและเอนไซม์เพคตินเนส

1) สารประกอบเพคติน (pectic substance) เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืชชั้นแรก (primary cell wall) และชั้นระหว่างเซลล์ (middle lamella) ของพืชชั้นสูง โดยจะทำให้เนื้อเยื่อพืชเกาะกันเกิดความแข็งแรง (Rombouts และ Pilnik, 1978) สารประกอบเพคตินประกอบด้วยสายแอลฟา-1,4-ดีกาแลคทูโรแนน ( $\alpha$ -1,4-D-galacturonan) ซึ่งบางส่วนถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยเมทานอล ดังรูป 2.1(a) โดยคำว่าเพคตินมักใช้เรียกสายโมโนเมอร์ที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยเมทานอลมากกว่า 50 % ถ้าถูกเอสเทอร์ไฟด์น้อยกว่า 10 % จะเรียกว่า กรดเพคติก แต่ถ้าถูกเอสเทอร์ไฟด์ระหว่าง 10-50 % เรียกว่า เพคตินที่มีหมู่เมทิลต่ำ (low methoxyl pectin) (Pilnik และ Rombouts, 1979)

2) เพคตินเนส (pectinase) เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยโครงสร้างเพคติน โดยการเข้าทำปฏิกิริยาของเพคตินเนสมี 2 แบบ (Kilara, 1982) ดังนี้

1. ปฏิกิริยาดีโพลีเมอไรเซชัน (depolymerization) เป็นการสลายพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ของโมเลกุลเพคติน โดยเอนไซม์ดีโพลีเมอเรส (depolymerase) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ 2 แบบ คือ

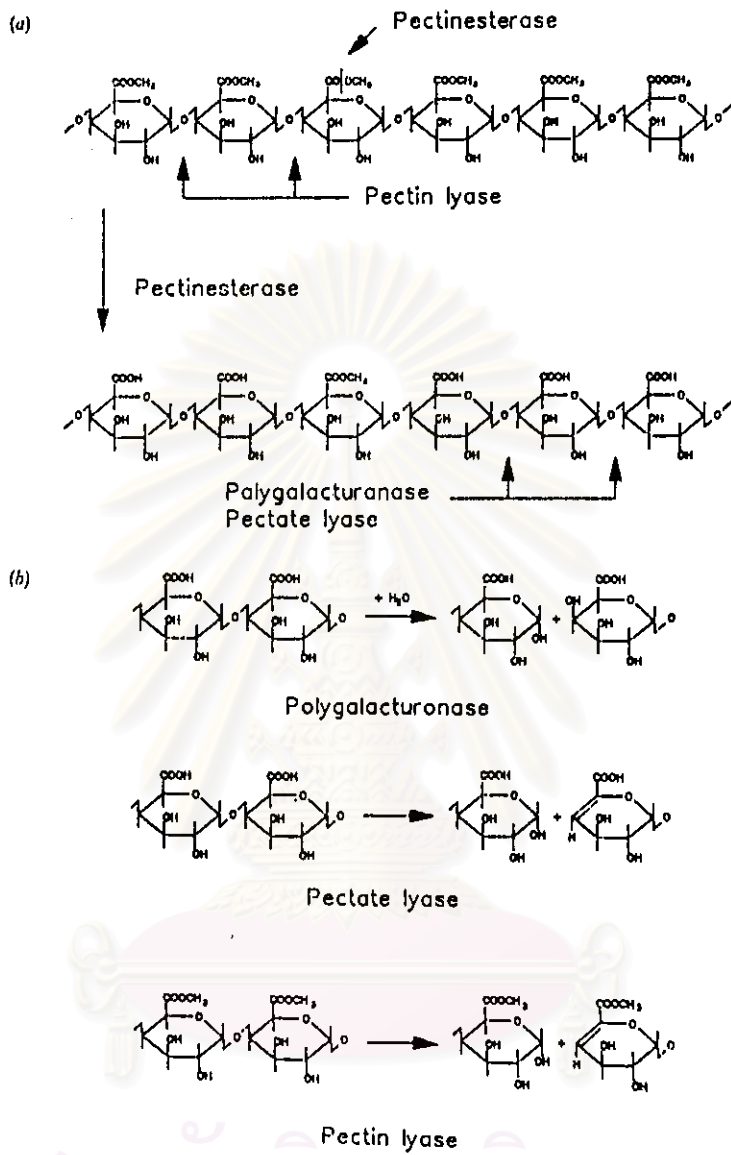
a) ไฮโดรไลซิส (hydrolytic mechanism) เป็นการเกิดไฮโดรไลซ์ โดยเอนไซม์ไฮโดรเลส (hydrolase) ได้แก่ โพลีกาแลคทูโรเนส (polygalacturonase; PG)

b) ทรานส์เอลิมีเนชัน (transelimination mechanism) เป็นการเกิดทรานส์เอลิมีเนชัน (trans-elimination) โดยเอนไซม์ไลเอส (lyases) ได้แก่ เพคเตทไลเอส (pectate lyase; PAL) และเพคตินไลเอส (pectin lyase; PL)

2. ปฏิกิริยาดีเอสเทอร์ไฟเคชันหรือซาปอนิฟิเคชัน (deesterification, or saponification) เป็นการดีเอสเทอร์ไฟเคชันโมเลกุลเพคติน โดยเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (pectinesterase; PE)

การเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์เพคตินเนส แสดงดังรูป 2.1 (b)

เพคตินเนสจะพบทั่วไปในพืชชั้นสูงเหมือนสารประกอบเพคติน แต่อยู่คนละชั้นของเนื้อเยื่อพืช เมื่อเซลล์พืชฉีกขาดหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์และเพคตินจะสัมผัสกัน ทำให้เกิดการย่อยสลาย ลักษณะความคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้จะหายไป ทำให้ผักและผลไม้เน่ามลง ปัจจุบันได้มีการผลิตเพคตินเนสเพื่อการค้าโดยสกัดจากจุลินทรีย์ โดยเฉพาะจากเชื้อรา ไม่พบเพคตินเนสในสัตว์ ยกเว้น ในทาก (snail) (ปราณี อานเป็ร็อง, 2536)



รูป 2.1 a) โครงสร้างของเพคติน และการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์เพคตินเนส  
 b) กระบวนการสลายพันธะ โดยการเกิดไฮโดรไลซ์ด้วย PG และการเกิดอิลิมิเนชัน (elimination) ด้วย PAL และ PL

ที่มา : Lea (1990)

เอนไซม์เพคติเนสชนิดต่าง ๆ จะมีสมบัติแตกต่างกัน แสดงได้ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 สมบัติของเอนไซม์เพคติเนสชนิดต่าง ๆ

ชื่อ (Name)	รหัส เอนไซม์ (EC No.)	สับสเตรท ปฐมภูมิ (Primary substrate)	ผลผลิต (Products)	กลไก (mechanism)
<b>เอสเทอร์</b> เพคตินเมทิลเอสเทอร์ (เพคตินเอสเทอร์)	3.1.1.11	เพคติน	กรดเพคติก + เมทานอล	ไฮโดรไลซิส
<b>โพลีกลาลคทูโรเนส</b> โปรโตเพคติน		โปรโตเพคติน	เพคติน	ไฮโดรไลซิส
เอนโดโพลีกลาลคทูโรเนส	3.1.1.15	กรดเพคติก	โพลีกลาลคทูโรเนส	ไฮโดรไลซิส
เอกโซโพลีกลาลคทูโรเนส	3.2.1.82	กรดเพคติก	โมโนกลาลคทูโรเนส	ไฮโดรไลซิส
<b>ไลเอส</b> เอนโดเพคเตท ไลเอส	4.2.2.2	กรดเพคติก	โพลีกลาลคทูโรเนสไม่เชื่อมตัว	ทรานซิลิมีเนชัน
เอกโซเพคเตท ไลเอส	4.2.2.9	กรดเพคติก	โกลาลคทูโรเนสไม่เชื่อมตัว	ทรานซิลิมีเนชัน
เอนโดเพคติน ไลเอส	4.2.2.10	เพคติน	เมทิลโพลีกลาลคทูโรเนสไม่เชื่อมตัว	ทรานซิลิมีเนชัน

ที่มา : Demain และ Phaff (1964)

### 3) เพคติเนสทางการค้า (commercial pectinase) (Pilnik และ Rombouts, 1979)

เอนไซม์เพคติเนสที่ใช้กันส่วนใหญ่ในทางการค้า มักผลิตจากเชื้อรา *Aspergillus niger* และมักประกอบด้วย PE PG และ PL ดังนั้นจึงสามารถย่อยสลายสารเพคตินที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์สูง โดย PE จะทำหน้าที่ดีเอสเทอร์ไฟด์ และ PG จะทำหน้าที่ไฮโดรไลซิสให้เพคตินมีโมเลกุลเล็กลงหรืออาจสลายพันธะไกลโคซิดิกโดยตรงด้วยวิธีอีลิมีเนชัน (elimination) ด้วย PL ก็ได้ อย่างไรก็ตาม อาจมีการเตรียมเอนไซม์ด้วยวิธีพิเศษเพื่อให้ประกอบไปด้วยเอนไซม์หลักเพียงชนิดเดียว เช่น เอนไซม์ทางการค้า ชื่อ Rohament P ประกอบด้วย PG แต่โดยทั่วไปแล้วเอนไซม์เพคติเนสที่ใช้ในทางการค้ามักประกอบด้วยเอนไซม์ชนิดอื่นด้วย เช่น เซลลูเลส ไซเลส อะราบินเนส กาแลคทาเนส ไกลโคซิเดส โปรติเอส เอสเทอร์เอส และออกซิโดรีดักเตส เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ

เอนไซม์ นั้นคือสามารถย่อยสลายสารได้หลายชนิด ผู้ผลิตบางรายอาจเติมเอนไซม์อะมัยเลสเพื่อ  
ย่อยสลายโมเลกุลแป้งในผลไม้บางชนิดก็ได้ รายชื่อผู้ผลิตเอนไซม์เพคตินเอสทางการค้า แสดงดัง  
ตาราง 2.3

ตาราง 2.3 รายชื่อผู้ผลิตเอนไซม์เพคตินเอส และการใช้งาน

บริษัทผู้ผลิต (Manufacturer)	ชื่อทางการค้า (Brand name)	การใช้ประโยชน์ (Recommended application)
C.H. Boehringer Sohn, Ingelheim, Germany	Panzyme product	การสกัด และการทำให้ใส ในน้ำผลไม้ และ must ของ องุ่น
Ciba-Geigy AG, Basle, Switzerland	Ultrazyme 100 Irgazyme M-10 Ultrazyme SE 604	การสกัด และการทำให้ใส ในน้ำผลไม้ และ must ของ องุ่น ใช้ประโยชน์ในเทคโนโลยีของผลไม้ตระกูลส้ม การทำให้ฝัก และผลไม้ نیم สกัดน้ำมันมะกอก (olive oil)
G.B. Fermentation Ind. Inc., Kingstree, S. Carolina, USA	Klerzyme	การสกัด การทำให้ใส และ ย่อยเพคติน ในน้ำผลไม้
Rohm GmbH, Darmstadt, Germany	Pectinol products  Rohament P	การสกัด การทำให้ใส และการย่อยเพคติน ในน้ำผลไม้ และ must ขององุ่น ทำให้น้ำมะนาวใส  การทำให้ฝัก และผลไม้ نیم
Rohm and Haas Co., Philadelphia, Pa, USA	Pectinex product	การสกัด และการทำให้ใส และย่อยเพคติน ในน้ำผลไม้ และ must ขององุ่น

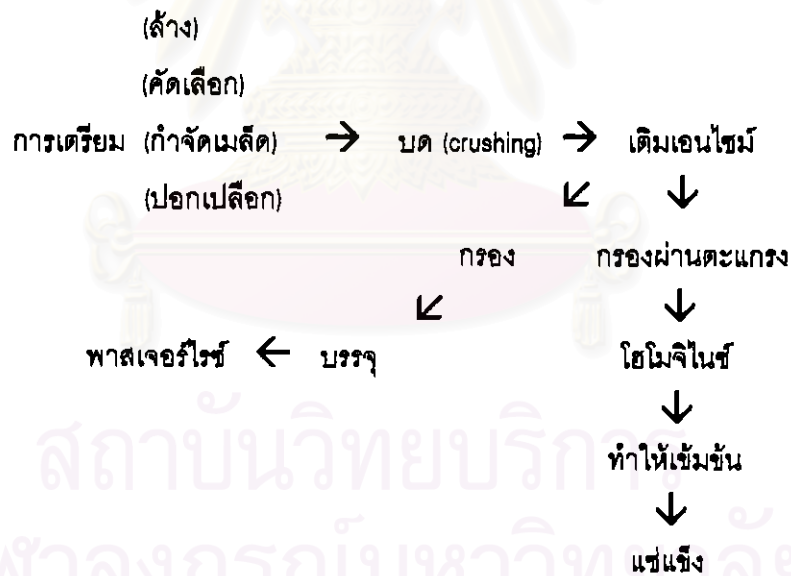
ที่มา : Pitnik และ Rombouts (1979)



## 2.4 การใช้เอนไซม์เพคตินเอสในการผลิตน้ำผักและผลไม้

เอนไซม์เพคตินเอสเป็นเอนไซม์ที่สำคัญซึ่งสามารถใช้ในการสกัดน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้และไวน์ส ทำให้ผักและผลไม้นุ่มและเป็นของเหลว (maceration และ liquefaction) เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำผักและผลไม้อื่น ๆ คือ อะมัยเลส กลูโคสออกซิเดส โปรตีเอส นาวิจินัส และ ลิโมนัส (Rombouts และ Pilnik, 1978)

การทำให้นุ่ม (maceration) หมายถึง การสลายเพียงส่วนของเพคตินในชั้นระหว่างเซลล์ซึ่งมีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชกลายเป็นอนุภาคแขวนลอยอิสระ เซลล์ผลไม้ถูกแยกออก ส่วนการทำให้เป็นของเหลว (liquefaction) หมายถึง การสลายเพคตินทั้งในส่วนชั้นระหว่างเซลล์ และในส่วนของผนังเซลล์ โดยมักใช้เอนไซม์เพคตินเอสร่วมกับเซลลูเลส (Pilnik และ Rombouts, 1979) การทำให้เซลล์ผักและผลไม้บางส่วนหรือทั้งหมดเป็นของเหลว สามารถนำมาใช้ผลิตผัก ผลไม้บด (puree) เพื่อเป็นอาหารสำหรับเด็ก เนคต้า หรือน้ำผลไม้ที่มีลักษณะขุ่น (stable cloud juice) (Baumann, 1981) กระบวนการใช้เอนไซม์ในการทำให้ผักและผลไม้เป็นของเหลวแสดงดังรูป 2.2



รูป 2.2 กระบวนการใช้เอนไซม์ในการทำให้ผักและผลไม้เป็นของเหลว (liquefaction)

ที่มา : Pilnik และ Rombouts (1979)



สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้เอนไซม์ผลิตน้ำผักและผลไม้ มี 3 ประการ (บุญเทียม พันธุ์เพ็ง, 2536)

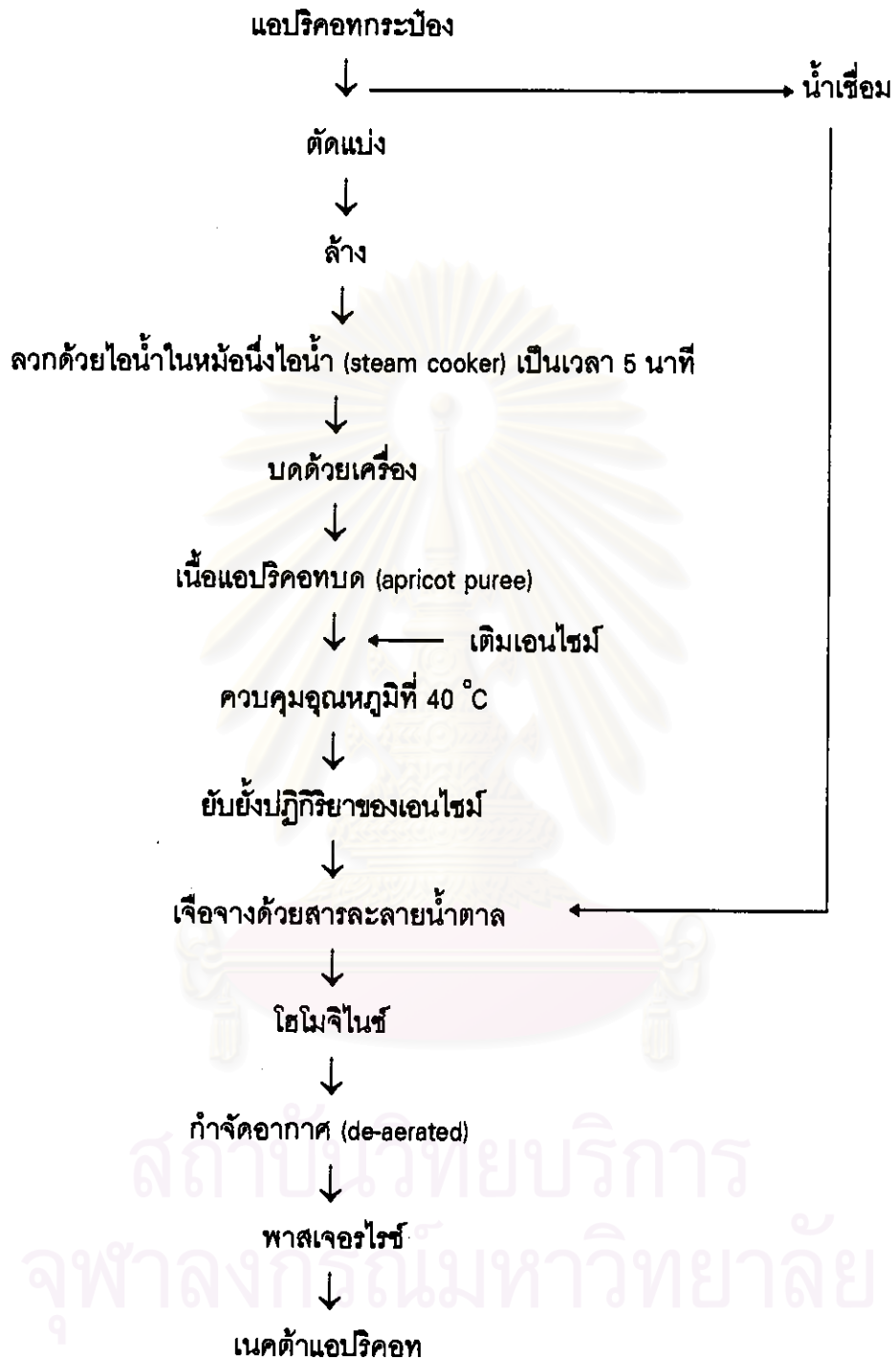
1. สภาพที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ อุณหภูมิในการย่อย ระยะเวลาในการย่อย สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง และสารยับยั้งเอนไซม์ (enzyme inhibitor) ที่อาจมีอยู่ในวัตถุดิบ
2. ความสามารถในการย่อยสารประกอบเพคติน ซึ่งขึ้นกับชนิดของเอนไซม์ทางการค้า (commercial enzyme preparation) ที่ใช้ และองค์ประกอบสารประกอบเพคตินที่มีอยู่ในวัตถุดิบ ดังนั้นจะต้องมีการเลือกเอนไซม์ที่จะใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่จะนำมาผลิต ซึ่งอาจสังเกตได้คือ ถ้าการย่อยเป็นไปได้ดี ความหนืดของของผสมระหว่างเอนไซม์กับวัตถุดิบจะลดลง
3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ที่ได้ เช่น ความใส สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความคงตัว

Struebi (1978) ได้ใช้เอนไซม์ในการทำให้นิ่ม (macerating enzyme) ที่ผลิตทางการค้า ได้แก่ Irgazyme M-10 และ Rohament P ในการผลิตเนคต้าแอปเปิ้ล เนคต้าได้มีสีและกลิ่นเหมือนเดิม (original) มีเนื้อสัมผัสดี และมีความคงตัวของความขุ่น (cloud stability) ดี

Schmitt (1983) ได้ใช้เอนไซม์ที่ผลิตทางการค้า ชื่อ Rohament D ซึ่งเตรียมจากเอนไซม์เพคตินไกลโคซิเดส ในการทำให้นิ่มและย่อยเนื้อเยื่อเพื่อผลิตเนื้อแอปริคอตบด น้ำแครอท น้ำองุ่นเข้มข้น น้ำปาล์พริกาเข้มข้น โดยพบว่าความเป็นกรดเป็นด่างและอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 3.5-5.0 และ 45-50 °C ตามลำดับ นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้เอนไซม์ทางการค้า ชื่อ Rohament PC ซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสผสมอยู่ เพื่อทำให้ผัก ผลไม้มีลักษณะเป็นของเหลว (liquefaction) ขณะเดียวกันเพื่อรักษาความคงตัวของความขุ่น เอนไซม์นี้จะใช้เตรียมน้ำผลไม้ชนิดใส และชนิดเข้มข้น

Hugo (1981) ได้ผลิตเนคต้าจากแอปริคอตและฝรั่ง โดยใช้เอนไซม์ทำให้นิ่ม (maceration enzyme) การเติมน้ำผลไม้ลงในผลิตภัณฑ์พบว่าเติมได้ไม่เกิน 25 % เพราะถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้เนคต้า มีความหนืดสูงเกินไป

Voragen และคณะ (1985) ได้กล่าวถึงการผลิตเนคต้าแอปริคอตโดยใช้เอนไซม์เพคตินเนสพบว่าสามารถทำให้เนคต้ามีความคงตัวของความขุ่นดี ซึ่งขั้นตอนการผลิตเป็นดังรูป 2.3



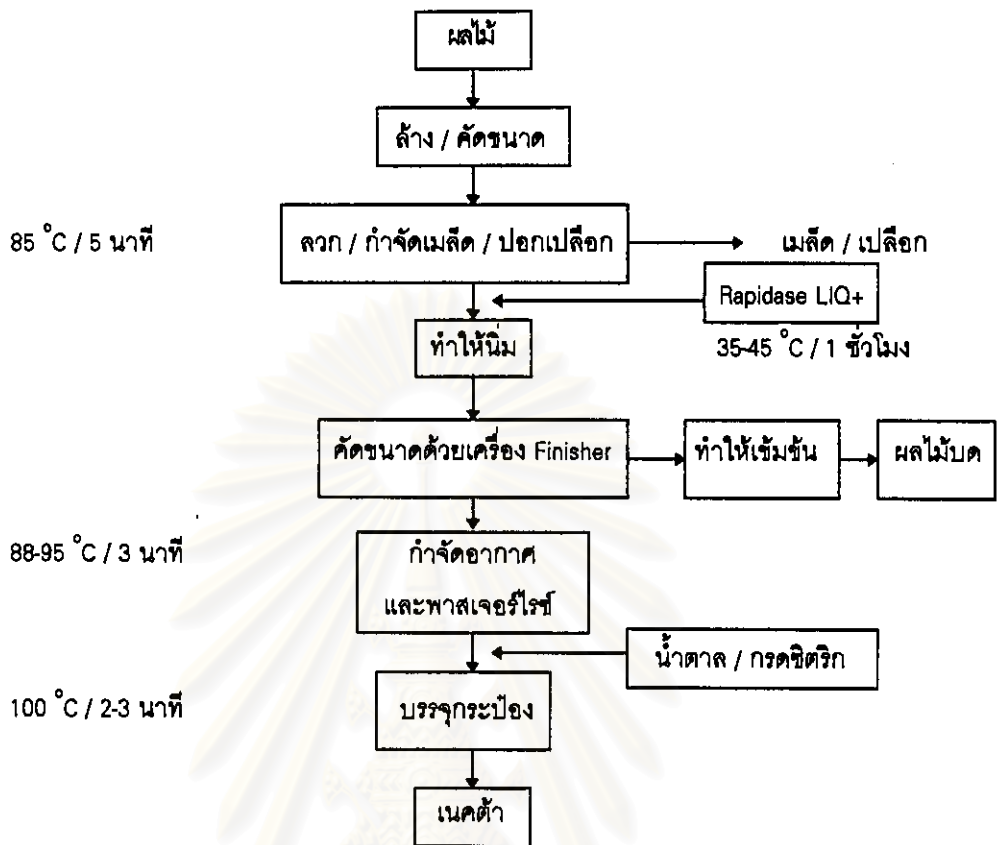
รูป 2.3 กระบวนการผลิตเนคต้าแอปริคอต

ที่มา : Voragen และคณะ (1985)

Sreenath, Nanjudaswamy และ Sreekantiah (1987) ได้ศึกษาการลดความหนืดในเนื้อมะม่วงบดเพื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมะม่วง โดยใช้เอนไซม์เพคตินเนส และเซลลูโลสชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตทางการค้า และที่ได้จากเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า Ultrazym 100 มี ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความหนืด โดยใช้ความเข้มข้น 0.05 %w/v โดยย่อยที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วยับยั้งปฏิกิริยาด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 5-10 นาที ซึ่งสามารถลดความหนืดของเนื้อมะม่วงได้ 82 %

Siliha และคณะ (1995) ได้เปรียบเทียบความหนืดของเนื้อแครอทบด (carrot puree) ที่เติมเอนไซม์ทางการค้าชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Panzym M Rohament K และ Pectinex Ultra SP-L โดยใช้เวลาย่อย 2 ชั่วโมง พบว่า Pectinex Ultra SP-L สามารถลดความหนืดได้สูงสุด รองลงมาคือ Rohament K และ Panzym M นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าใช้เอนไซม์เซลลูโลสทางการค้า ชื่อ celluclast รวมด้วยจะเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อย

Grassin และ Fauquembergue (1996) ได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตเนคต้าจาก แพร่ พีช แอปริคอต มะม่วง และฝรั่ง โดยใช้เอนไซม์เพคตินเนส ซึ่งมี PG และ PL เป็นส่วนผสมร่วมกับเอนไซม์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส คือ อะราบีเนส ไซลาเนส และกาแลคเตส ซึ่งมีความสำคัญในการทำเนื้อฝรั่ง และมะม่วงนึ่ง ในกระบวนการใช้เอนไซม์เพคตินเนส 150 กรัมต่อเนื้อผลไม้ 1 ตัน นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 35-45 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เอนไซม์ทางการค้าที่นำมาใช้ ได้แก่ Rapidase LIQ+ (Gist-Brocades) Pectinex Ultra SP-L (Novo Nordisk) หรือ Rohapect TF (Rohm) ซึ่งจะช่วยลดความหนืดของเนื้อผลไม้ และรักษาความคงตัวของความข้นของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถนำเนื้อผลไม้ที่ได้จากการย่อยไปทำให้มีความเข้มข้นขึ้นได้อีกด้วย เนื้อผลไม้ที่ย่อยแล้วจะนำไปผ่านตะแกรงขนาด 0.63-0.83 มิลลิเมตร เนื้อที่ย่อยแล้วส่วนหนึ่งจะถูกนำไปทำให้เข้มข้นเพื่อผลิตเป็นผลไม้บด (puree) และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปผลิตเป็นเนคต้า โดยจะนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 85-95 °C นำมาปรับความหวานด้วยน้ำเชื่อมให้เป็น 15-16 ๐บริกซ์ และปรับความเป็นกรดด้วยกรดซิตริก นำไปบรรจุกระป๋องหรือขวด ปิดผนึก ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2-3 นาที ซึ่งกระบวนการผลิตดังกล่าวแสดงดังรูป 2.4



รูป 2.4 กระบวนการผลิตเนคตาร์จาก แอปเปิ้ล พีช แอปริคอต มะม่วง และฝรั่ง

ที่มา : Grassin และ Fauquembergue (1996)

## 2.5 เครื่องดื่มเนคตาร์

เนคตาร์ (nectar) เป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมปั่นรวมของเนื้อผลไม้ กับน้ำ น้ำเชื่อม และกรดอินทรีย์ อาจใช้ผลไม้ประเภทเดียวกันหรือหลายประเภทรวมกันก็ได้ เพื่อเป็นเครื่องดื่มบริโภคได้ทันที เนื่องจากผลไม้บางประเภทมีกลิ่นรสที่แรงจัดไม่เหมาะกับการบริโภคโดยตรง จึงต้องมีการผสมผลไม้มากกว่าหนึ่งชนิดและเติมน้ำ สารให้ความหวานต่าง ๆ เพื่อให้รสชาติเหมาะสมกับการบริโภค เนคตาร์จะต้องประกอบด้วยเนื้อผลไม้อย่างน้อย 40 % ยกเว้นผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล แอปริคอต ต้องมีเนื้อผลไม้อย่างน้อย 35 % ส่วนพวกผลไม้เล็ก ๆ เช่น เบอร์รี่ เชอร์รี่ ฝรั่ง ต้องมีเนื้อผลไม้อย่างน้อย 25 % ส่วนมะม่วงหรือมะละกอต้องมีเนื้อผลไม้อย่างน้อย 33 % ในการผลิตเครื่องดื่มประเภทนี้ สารให้ความหวานอาจใช้น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ น้ำตาล

อินเวอร์ท หรือกลูโคสไซรัป เป็นต้น ส่วนกรดที่ใช้อาจใช้กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแอสคอร์บิก ก็ได้ (Woodroof และ Phillips, 1981)

### องค์ประกอบสำคัญของเครื่องดื่มเนคต้า

1. สารให้ความหวาน (sweeteners)
2. กรด (acids)
3. สารให้ความคงตัว (stabilizing agents)

1. สารให้ความหวาน (sweeteners) สารให้ความหวานในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มมีมากมายหลายประเภท เช่น น้ำตาลทราย น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโตส แอสพาเทม เป็นต้น สารให้ความหวานเหล่านี้ นอกจากจะเป็นตัวให้รสชาติแก่เครื่องดื่มแล้ว ยังทำให้เกิดความสมดุลแก่รสชาติอื่น ๆ เช่น รสเปรี้ยว รสเค็ม รสขม เป็นต้น ในเครื่องดื่มอีก และสารให้ความหวานบางประเภท เช่น น้ำตาลทราย ยังเป็นสารให้ความหนืด และลักษณะเนื้อ (body) แก่เครื่องดื่ม นอกจากนั้นน้ำตาลยังเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญแหล่งหนึ่งของมนุษย์ และระดับน้ำตาลที่สูงยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้อีกด้วย (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535)

2. กรด (acids) กรดเป็นตัวช่วยเพิ่มกลิ่นและรส เนื่องจากจะไปมีผลต่อประสาทรับความรู้สึก กรดส่วนใหญ่ที่เติมจะทำให้เกิดรสเปรี้ยว แต่กรดบางชนิดก็จะให้รสขม ความรู้สึกรสเปรี้ยวสำหรับกรดแต่ละชนิดจะขึ้นที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.5-4 ในขณะที่กรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อนจะรู้สึกที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.7-4.1 การเลือกเติมกรดนั้นจะต้องคำนึงถึงกลิ่นรสที่ต้องการเป็นสำคัญ ส่วนใหญ่จะเลือกใช้กรดชนิดที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในอาหารชนิดนั้นเป็นหลัก กรดยังช่วยถนอมอาหารและยืดอายุการเก็บรักษาเครื่องดื่มอีกด้วย โดยจะเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ และเป็นตัวช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ช่วยให้เครื่องดื่มมีกลิ่นรส สีส และลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงธรรมชาติ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535) กรดที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนคต้าฟักทองคือกรดมาลิก เนื่องจากกรดมาลิกเป็นกรดที่มีอยู่ในฟักทองโดยมีอยู่ 0.15 % (Bridges และ Mattice, 1942)

- กรดมาลิก (malic acid) (ศิวาพร ศิวเวชช, 2629)

กรดมาลิก ( $C_4H_6O_5$ ) เป็นผลผลิตสีขาว ในผลไม้หรือผักจะอยู่ในรูปของ แอล-มาลิก (L-malic) และเป็นกรดที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากกรดซิตริก นิยมใช้ปรับปรุงกลิ่นรสของเครื่องดื่มประเภทที่ไม่มีแอลกอฮอล์ แยม และเยลลี่ เป็นต้น และเนื่องจากสามารถทำให้กลิ่นรสของอาหารกลมกล่อมขึ้น จึงนิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่มีกลิ่นรสผลไม้ และยังช่วยเน้นกลิ่นรสผลไม้ของเครื่องดื่ม กรดนี้ไม่มีผลต่อสีธรรมชาติของอาหารหรือสีสังเคราะห์ที่เติมลงไปในการอาหาร

- กรดซิตริก (citric acid) (ไพโรจน์ วิริยจาร์, 2635)

กรดซิตริก ( $C_6H_8O_7$ ) เป็นกรดประเภทไตรคาร์บอกซิล (tricarboxyl acid) เป็นกรดมาตรฐานสำหรับหาปริมาณของกรดต่าง ๆ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป พบมากในธรรมชาติ ในผลไม้พวกส้มและมะนาว เป็นกรดที่ละลายน้ำได้ดี และเป็นสารคีเลท (chelating agent) ซึ่งช่วยรักษาสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ นิยมใช้ในอาหารพวกน้ำผลไม้และน้ำหวานชนิดต่าง ๆ กรดซิตริกจะช่วยในด้านกลิ่นรส และปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้เหมาะสมแก่เครื่องดื่ม กรดนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นสารกันเสียด้วย และเมื่อรวมกับแร่ธาตุในน้ำผลไม้มักเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้กรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ในธรรมชาติในผลิตภัณฑ์คงตัวดีขึ้น ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของสีและรสชาติของผลิตภัณฑ์

3. สารให้ความคงตัว (stabilizing agents) เครื่องดื่มบางชนิดที่มีลักษณะเฉพาะตัวในด้านความขุ่น ความรู้สึกที่มีลักษณะว่าเครื่องดื่มมีเนื้อผลไม้อยู่ด้วย เป็นลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภค แต่ก็มีปัญหาเรื่องการตกตะกอนหรือการแยกชั้นเกิดขึ้น สารที่นิยมนำมาใช้เพื่อให้เกิดความคงตัวในเครื่องดื่ม คือ สารจำพวกกัม (gums) ซึ่งจัดเป็นสารที่ให้ความหนืดและความคงตัวแก่เครื่องดื่ม (ไพโรจน์ วิริยจาร์, 2635) ในผลิตภัณฑ์เนคต้าสารให้ความคงตัวที่ได้นำมาใช้ได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต คาราจีแนน กัวกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) (ศิวาพร ศิวเวชช, 2629)

คุณสมบัติที่สำคัญบางประการของสารจำพวกกัม ซึ่งต้องพิจารณาเมื่อนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ คือ (ไพโรจน์ วิริยจาร์, 2635)

1) ความสามารถในการกระจายตัว กัมเป็นสารที่ดูดซับน้ำได้ดี การเติมกัมในเครื่องดื่ม จึงควรต้องละลายกัมในน้ำเย็นก่อน แล้วค่อย ๆ เติมลงไปในส่วนผสมทั้งหมด จึงจะทำให้กัมสามารถกระจายตัวได้ดี



2) ความสามารถในการละลาย ส่วนมากกัมจะมีความสามารถละลายได้ดีในน้ำ ซึ่งความสามารถในการละลายจะแตกต่างกันไปตามชนิดของกัมที่ใช้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้ละลาย

3) ความสามารถในการทำให้ข้นหนืด โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของกัมที่ใช้ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของกัม เช่น กัมอะราบิก จะให้ความหนืดที่ดีเมื่อมีการใช้ในปริมาณ 10-20 % คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และ กัวกัม จะให้ความหนืดเร็วมากในน้ำเย็น เป็นต้น

4) ความสามารถในการเกิดเจล มีกัมเพียงไม่กี่ชนิดที่มีความสามารถในการทำให้เกิดเจล เช่น อัลจิเนต คาราจีแนน เจลาติน เพคติน เป็นต้น

5) ความสามารถในการเป็นสารทำให้เกิดอิมัลชัน และสารให้ความคงตัว การใช้กัมเพื่อต้องการคุณสมบัติข้อนี้ในเครื่องดื่มมีความสำคัญมากในปัจจุบัน กัมที่ใช้เป็นสารทำให้เกิดอิมัลชันได้เฉพาะแต่เป็น อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เท่านั้น และความเข้มข้นที่ใช้ต้องพอเหมาะแก่ระบบที่ต้องการใช้ด้วย ซึ่งคุณสมบัติของกัมในการที่เป็นสารทำให้เกิดอิมัลชันและสารให้ความคงตัวนี้มีความสัมพันธ์กับความสามารถให้ความข้นหนืดกับผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการคงตัวของสารละลายกัมจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และอีเลคโตรไลต์ในผลิตภัณฑ์

- อัลจิเนต (alginate)

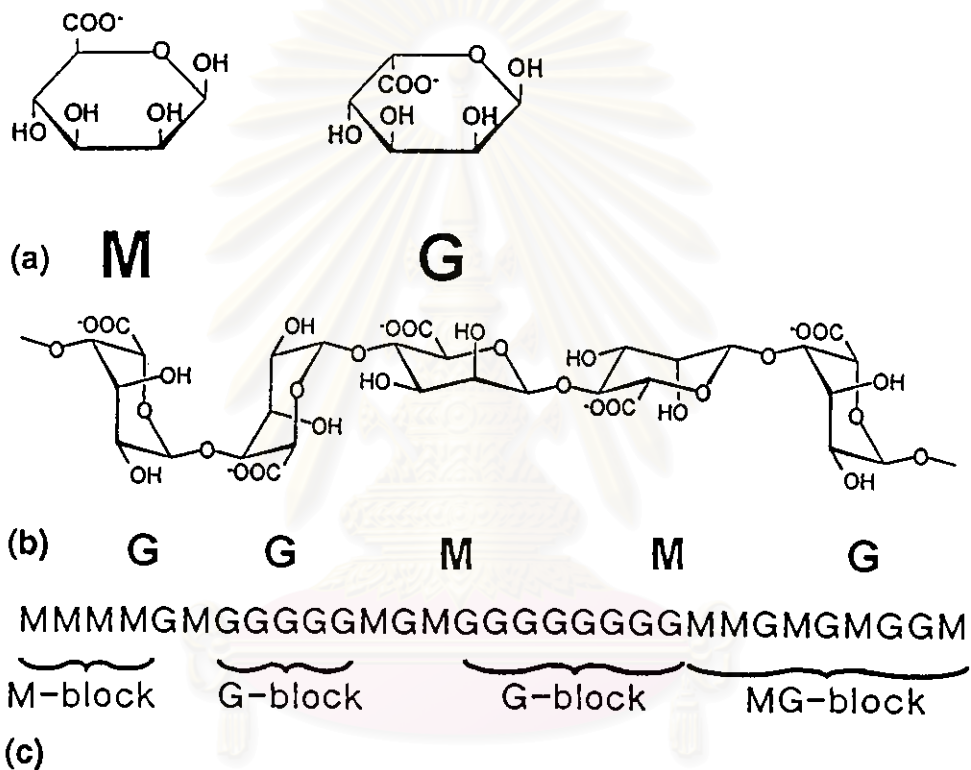
อัลจิเนตสกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาลด้วยต่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต แล้วนำมาตกตะกอนด้วยกรด จะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของกรดอัลจินิก หลังจากนั้นนำมาทำให้เป็นกลางด้วยต่างจะได้เกลืออัลจิเนตหลายรูป เช่น โปแตสเซียม โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม และยังผลิตในรูปของโพรไพลีนไกลคอลอัลจิเนต (propylene glycol alginate) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของกรดอัลจินิกกับโพรไพลีนออกไซด์ (propylene oxide) ภายใต้ความดัน

อัลจิเนตเป็นโคโพลีเมอร์แบบเส้นตรง (linear copolymer) โดยโมเลกุลประกอบด้วยส่วนของโพลีเมอร์ (polymer segment) 3 ชนิด ของ กรดดี-แมนนูโรนิก (D-mannuronic acid), กรดแอล-กูลูโรนิก (L-guluronic acid) และทั้งสอง 2 ชนิดร่วมกัน (โครงสร้างแสดงดังรูป 2.5) สัดส่วนของโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิด และโครงสร้างของโพลีเมอร์จะเป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติของอัลจิเนต (Sharma, 1981)

อัลจิเนตจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน โครงสร้างของเจลจะมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ ดังรูป 2.6

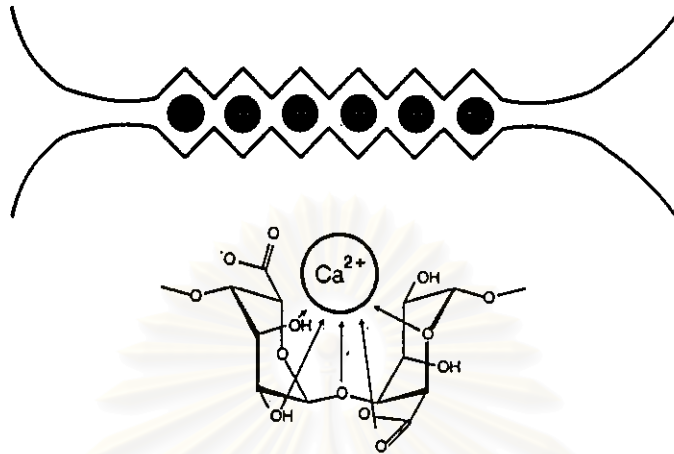


กรดอัลจินิกและเกลือแคลเซียมอัลจิเนตจะละลายน้ำได้น้อยมาก ส่วนอัลจิเนตในรูปโซเดียม โปแตสเซียม แอมโมเนียม และโพรโพสทินไกลคอล จะละลายน้ำได้ในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความเข้มข้น (ไพโรจน์ วิจัยจารี, 2535)



- รูป 2.5 a) โครงสร้างของกรดอัลจินิกในรูป กรดดี-แมนนูโรนิก (M), กรดแอล-กลูโรนิก (G)  
 b) โครงสร้างของอัลจิเนต  
 c) การจัดเรียงของอัลจิเนต แสดงในรูปสัญลักษณ์

ที่มา : Stephen (1995)



รูป 2.6 โครงสร้างของเจลอัลจินเนตที่มีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg-box model) เมื่อมีไอออนของแคลเซียม

ที่มา : Stephen (1996)

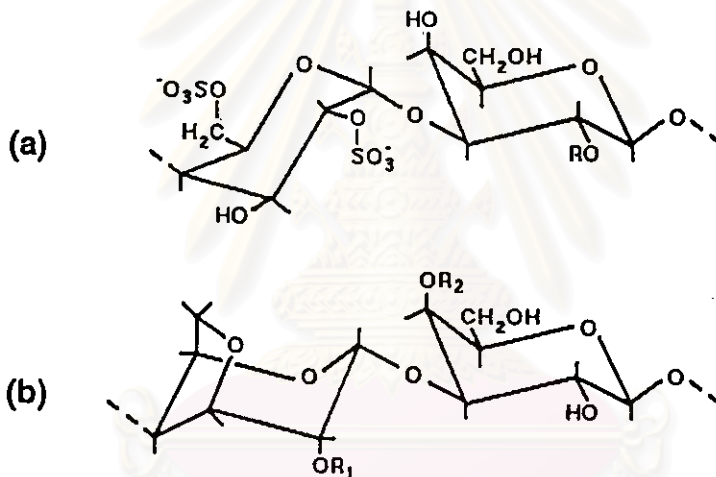
Moncrieff (1963) ได้ทดลองใช้อัลจินเนตช่วยในการทำให้เนื้อผลไม้ไม่มีการกระจายตัวและแขวนลอย พบว่าโพรไฟลีนไกลคอลลูโลส ความเข้มข้น 0.1-0.2 % จะให้ผลดีที่สุด

Leon และ Boak (1984) ได้ใช้โพรไฟลีนไกลคอลลูโลส ความเข้มข้น 0.015-0.2 %w/w สามารถป้องกันการแยกตัวของของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำผลไม้ผสมอยู่

Shen, Huang และ Xia (1996) ได้ผลิตน้ำผักกาดหอม (lettuce) และคื่นฉ่าย แล้วทดลองใช้โซเดียมอัลจินเนต โซเดียมคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส และเพคติน เป็นสารให้ความคงตัว พบว่าการใช้โซเดียมอัลจินเนต 0.3 % สามารถรักษาความคงตัวได้ดีที่สุด

- คาราจีแนน (carrageenan)

คาราจีแนนเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีหมู่ซัลเฟต (sulphated polysaccharide) ที่สกัดจากสาหร่ายสีแดง โดยสกัดด้วยน้ำร้อน ทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกรองภายใต้ความดัน นำมาตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ คาราจีแนนแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ แลมดา ( $\lambda$ -carrageenan) แคปปา ( $\kappa$ -carrageenan) และไอออตตา ( $\iota$ -carrageenan) (โครงสร้างแสดงดังรูป 2.7) สาหร่ายทะเลส่วนใหญ่มีคาราจีแนนอย่างน้อย 2-3 ชนิดผสมอยู่ คาราจีแนนชนิดแคปปา และไอออตตาเท่านั้นที่มีสมบัติในการเกิดเจล



รูป 2.7 โครงสร้างของคาราจีแนน

- a) คาราจีแนนชนิดแลมดา ( $\lambda$ -carrageenan) ( $R = H$  or  $SO_3^-$ )  
 b) คาราจีแนนชนิดไอออตตา ( $\iota$ -carrageenan) ( $R_1 = R_2 = SO_3^-$ )  
 และชนิดแคปปา ( $\kappa$ -carrageenan) ( $R_1 = H$ ;  $R_2 = SO_3^-$ )

ที่มา : Stephen (1995)

คาราจีแนนทั้ง 3 ชนิดมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโตสที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยกรดซัลฟูริกปริมาณต่าง ๆ โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง 1, 3 และ 1, 4

คาราจีแนนชนิดแคปปา และโอออตตาไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 °C คาราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายจะมีโครงสร้างเป็นเกลียว (random coil) เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิดร่างแหของโพลีเมอร์เป็น 3 มิติ แต่สายของโพลีเมอร์จะรวมตัวกันเกิดจุดเชื่อมต่อ (junction point) เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะมีการเกาะตัวของจุดเชื่อมต่อนี้มากขึ้น ทำให้เกิดเจล (รูป 2.8) คาราจีแนนชนิดแคปปาจะเกิดเจลที่เปราะ แตกง่าย และมี syneresis เกิดขึ้น ส่วนคาราจีแนนชนิดโอออตตา จะเกิดเจลที่มีการยืดหยุ่น (elastic) และเป็นเจลที่ไม่เกิด syneresis คาราจีแนนชนิดแลมด้า ละลายได้ในน้ำเย็นและไม่เกิดเป็นเจล (Sharma, 1981)



รูป 2.8 กลไกการเกิดเจลของคาราจีแนน

ที่มา : Sharma (1981)

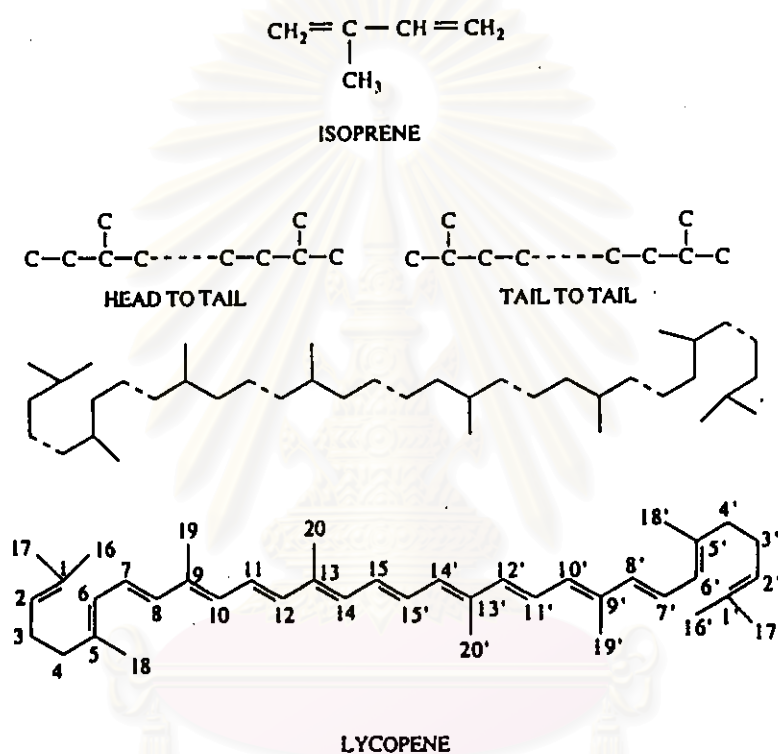
คาราจีแนนสามารถละลายน้ำได้ดีแต่ต้องอาศัยความร้อนที่อุณหภูมิ 50-80 °C จะทำให้สารละลายที่ได้ค่อนข้างหนืด สารละลายคาราจีแนนความเข้มข้น 2 % จะมีความหนืดแตกต่างกันตั้งแต่ 50-3,000 เซนติพอยซ์ ที่อุณหภูมิ 40 °C (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2535)

Staloff (1959) ได้ทดลองใช้คาราจีแนนในน้ำมะเขือเทศ พบว่านอกจากจะช่วยให้มีการแขวนลอยของเนื้อมะเขือเทศดีขึ้นแล้ว ยังช่วยให้ความข้นหรือลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำมะเขือเทศดีขึ้นด้วย

Glicksman และ Farkas (1970) ได้ผลิตเครื่องตีมกลิ่นผลไม้ พบว่าการใช้โซเดียมคาราจีแนนผสมกับโปแตสเซียมคาราจีแนน จะช่วยให้เนื้อสัมผัสของเครื่องตีมคล้ายคลึงกับน้ำผลไม้ตามธรรมชาติ

## 2.6 แคโรทีนอยด์ (carotenoid)

โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (isoprene unit) ต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ แบบหัวต่อหาง (head to tail) หรือหางต่อหาง (tail to tail) ทำให้เกิดโมเลกุลที่สมมาตร ดังรูป 2.9

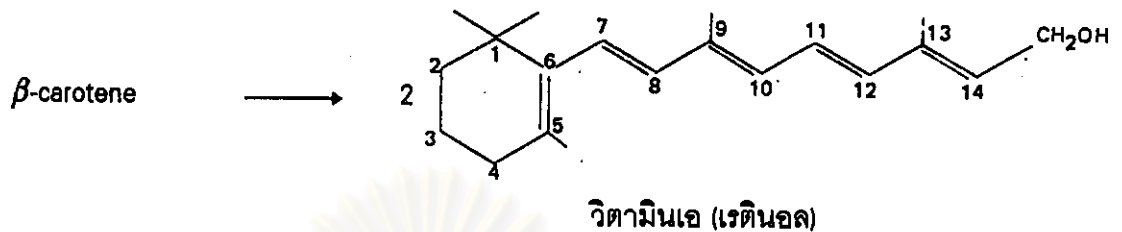


รูป 2.9 การเชื่อมต่อของหน่วยไอโซพรีนและโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ ชนิดไลโคปีน

ที่มา : Fennema (1996)

แคโรทีนอยด์จะเป็นโครงสร้างเริ่มต้นที่มีคาร์บอน 40 ตัว บางโครงสร้างประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอยู่ที่ปลายของโครงสร้าง เช่น เบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) (รูป 2.10) ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ที่พบมากในพืช นอกจากนั้นในพืชยังพบ แอลฟาแคโรทีน ( $\alpha$ -carotene) ในแครอท แคปแซนธิน (capsanthin) ในพริกแดง (red pepper) ปาปริกา (paprika) ลูทีน (lutein) ในกลีบดอกดาวเรือง (marigold petals) และไบซิน (bixin) ในต้นชาด (annatto)

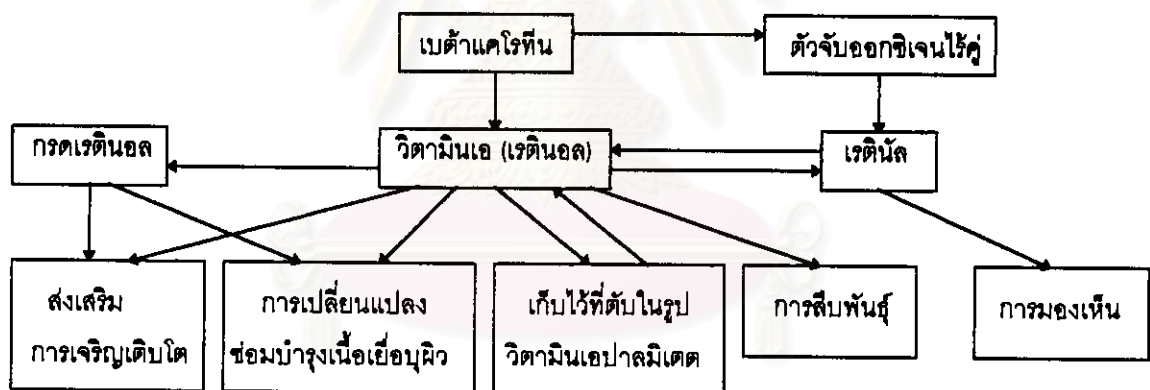




รูป 2.11 การเปลี่ยนรูปของเบต้าแคโรทีนเป็นวิตามินเอ

ที่มา : Engel (1979)

โดยเบต้าแคโรทีนและวิตามินเอจะมีบทบาทต่อร่างกายดังรูป 2.12



รูป 2.12 บทบาทของเบต้าแคโรทีน และวิตามินเอต่อร่างกาย

ที่มา : อรชุน เลี้ยววัฒนะผล (2536)

การบริโภควิตามินเอมากเกินไปจะเกิดเป็นพิษ เนื่องจากวิตามินเอละลายในไขมันจึงไม่ถูกขับออกทางปัสสาวะ แต่จะเก็บสะสมในเนื้อเยื่อและอวัยวะ อาการเมื่อวิตามินเอมากเกินไปคืออาการผิวหนังหน้าแดง ลอก ผมหร่วง เบื่ออาหาร แต่สำหรับเบต้าแคโรทีนนั้นจะไม่ก่อให้เกิดพิษ ถ้าร่างกายมีวิตามินเอต่ำ ร่างกายจะเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนเป็นวิตามินเอ เมื่อเพียงพอแล้วก็



จะหยุด เบต้าแคโรทีนที่เหลือจะเก็บในเนื้อเยื่อไขมัน หรือขับทิ้งไปจากร่างกายทางปัสสาวะ (อรชุน เลี้ยววัฒนะผล, 2536)

การรายงานปริมาณวิตามินเอ สามารถแสดงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ค่าสมมูลของเรตินอล (retinol equivalent) หรือค่าที่เทียบเท่ากับวิตามินเอ ค่าสมมูลของเรตินอล เท่ากับ 1 ไมโครกรัมของเรตินอล และถ้าเป็นหน่วยสากล (International unit; IU) จะเทียบได้เท่ากับ 0.3 ไมโครกรัมของเรตินอล (Gross, 1991)

โดย ค่าสมมูลของเรตินอล = เรตินอล 1 ไมโครกรัม  
 = เบต้าแคโรทีน 6 ไมโครกรัม  
 = แคโรทีนอยด์โปรวิตามินเอชนิดอื่น 12 ไมโครกรัม  
 = แอคติวิตีวิตามินเอจากเรตินอล 3.33 หน่วยสากล  
 = แอคติวิตีวิตามินเอจากเบต้าแคโรทีน 10 หน่วยสากล  
 = แอคติวิตีวิตามินเอจากแคโรทีนอยด์โปรวิตามินเอชนิดอื่น ๆ 20 หน่วยสากล

นอกจากนั้นเบต้าแคโรทีน ยังสามารถทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์หรือสารยับยั้งอนุมูลอิสระ (เอมอร อุดมเกษมมาลี, 2536) โดยเข้าไปจับกับอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการสลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับวิตามินอี และซี

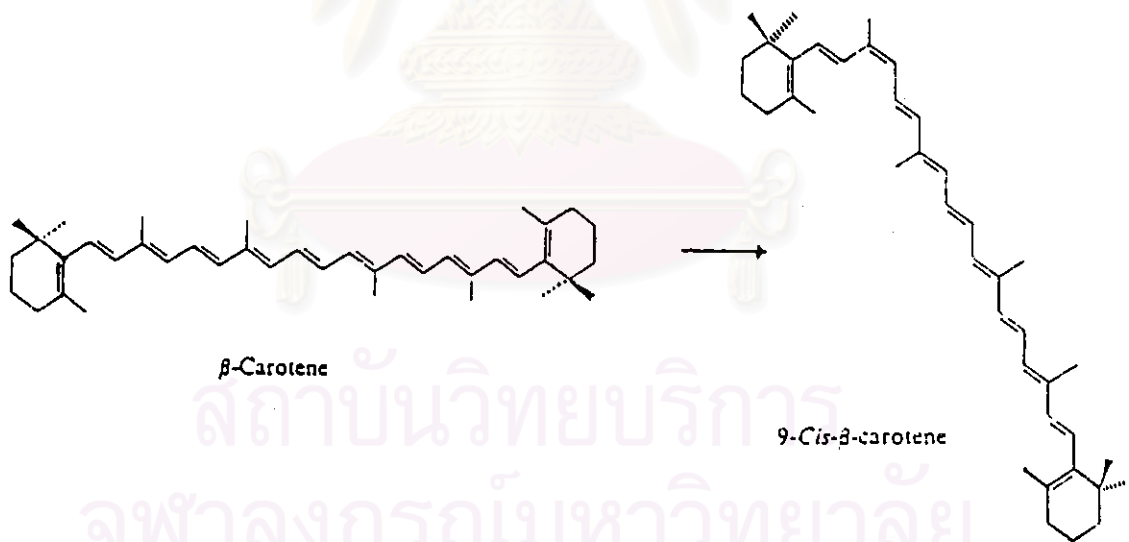
อนุมูลอิสระมีแหล่งที่มาจากทั้งภายนอกและภายในร่างกาย เช่น จากมลพิษในอากาศ จากควันบุหรี่ จากผลิตภัณฑ์อาหาร จากเมตาบอลิซึมของออกซิเจนภายในเซลล์ จากไมเลกุลไขมันในร่างกาย จากการบาดเจ็บ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย เช่น ดีเอ็นเอ กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ ไมเลกุลโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต จนเกิดการทำลายเซลล์และการสะสมของเซลล์ที่ถูกทำลายอย่างต่อเนื่อง และนำไปสู่การเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็งบางชนิด เช่น มะเร็งปอด กระเพาะอาหาร ลำไส้ใหญ่ โรคต่อกระจก ดังนั้นการได้รับเบต้าแคโรทีน วิตามินอี และซี จึงช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคเหล่านี้ (Block และ Langseth, 1994)

ในปัจจุบันไม่มีการกำหนดความต้องการประจำวันของเบต้าแคโรทีน มีเพียงคำแนะนำของสำนักงานอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาที่เสนอให้บริโภคเบต้าแคโรทีนวันละ 5.2 มิลลิกรัม และสถาบันมะเร็งสหรัฐอเมริกาแนะนำให้บริโภคเบต้าแคโรทีนวันละ 6 มิลลิกรัม (พงศธร สังข์เผือก และ เอมอร อุดมเกษมาลี, 2536)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแคโรทีนอยด์ (Engel, 1979)

### 1. ความร้อน

ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีผลให้แคโรทีนอยด์เกิดการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ แคโรทีนอยด์ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปทรานส์ (trans-form) ซึ่งสามารถบิดตัว  $180^\circ$  เป็นรูปซิส (cis-form) ด้วยความร้อน แสง และรังสี ดังรูป 2.13 ซึ่งจะเกิดการเสื่อมสภาพได้มากกว่าในรูปทรานส์ มีผลให้ดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า และทำให้สีอ่อนกว่า โดยเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีเหลือง การเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

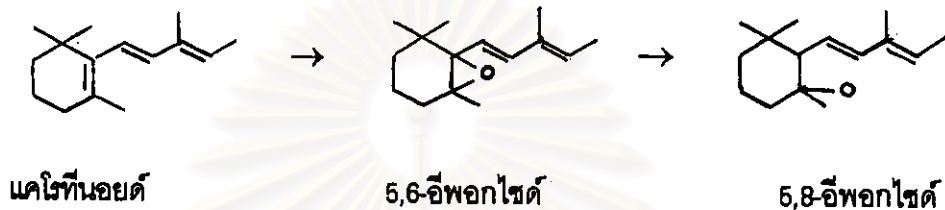


รูป 2.13 การเปลี่ยนรูปของแคโรทีนอยด์เมื่อได้รับความร้อน แสง และรังสี

ที่มา : Engel (1979)

## 2. กรดและด่าง

ในสภาพกรดแคโรทีนอยด์จะเกิดปฏิกิริยาอีพอกไซด์ไอโซเมอริซึม (epoxide isomerism) โดยการรวมตัวกับออกซิเจนที่พันธะคู่ในส่วนหางวงแหวนเกิด 5,6-อีพอกไซด์ (5,6-epoxide) และ 5,8-อีพอกไซด์ (5,8-epoxide) ตามลำดับ ทำให้สีอ่อนลง ดังรูป 2.14



รูป 2.14 การเปลี่ยนรูปของแคโรทีนอยด์ในสภาวะกรด

ที่มา : Engel (1979)

ในสภาวะต่างแคโรทีนอยด์ส่วนมากจะเสถียร ยกเว้นแคโรทีนอยด์บางชนิด เช่น แอสตาแซนธิน (astaxanthin) เพอริดีน (peridin) ฟูโคแซนธิน (fucoxanthin) เป็นต้น

## 3. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

### 3.1 ออกซิเดชันโดยตรง

เมื่อแคโรทีนอยด์สัมผัสอากาศ ทำให้พันธะคู่ถูกออกซิไดซ์ เกิดเป็นสารผสมสีน้ำตาลซึ่งประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ สารประกอบคาร์บอนิล และสารระเหยอื่น ๆ อัตราการสูญเสียแคโรทีนอยด์ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้น

การเติมสารแอนติออกซิแดนท์ สามารถช่วยให้เกิดความคงตัวของแคโรทีนอยด์ เช่น การใช้กรดแอสคอร์บิกเติมลงในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำผลไม้ นอกจากนั้นอาจใช้สารแอนติออกซิแดนท์อื่น ๆ เช่น บีเอชเอ (BHA; butylated hydroxy anisol) บีเอชที (BHT; butylated hydroxy toluene) เป็นต้น

### 3.2 ออกซิเดชันโดยอ้อม

สีของแคโรทีนอยด์ที่หายไปสามารถเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดไลโนลิก ซึ่งสามารถรวมตัวกับออกซิเจนตัวเอง (autooxidation) และทำให้แคโรทีนอยด์เกิดออกซิเดชันตามไปด้วย

### 4. การปนเปื้อนของโลหะ

โลหะสามารถเป็นตัวเร่งการสลายของแคโรทีนอยด์ ถ้ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ด้วย เช่น ทองแดง จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีดอกซ์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ

### 5. แสงสว่าง

แสงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีผลต่อการสูญเสีย กลีเซอรอล ในสภาพที่ขาดออกซิเจนหรือแสง จะมีการสูญเสียแคโรทีนอยด์น้อย เมื่อแคโรทีนอยด์ถูกแสง เช่น แสงอุตราไวโอเล็ต จะเกิดปฏิกิริยาคลายกับการเสื่อมสลายจากความร้อน

### 6. เอนไซม์

ในระดับเซลล์แคโรทีนอยด์จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีน ทำให้มีเสถียรภาพในเนื้อเยื่อที่ยังไม่ถูกทำลาย แต่ถ้าเนื้อเยื่อถูกทำลายเอนไซม์จะถูกปลดปล่อยออกมา และสามารถทำปฏิกิริยากับแคโรทีนอยด์ โดยมีกลไกดังนี้

1) เอนไซม์เพออกซิเดส (peroxidase) จะสลายแคโรทีนอยด์โดยทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

#### ทางตรง



#### ทางอ้อม

การสลายแคโรทีนอยด์เกิดจากการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยมีเอนไซม์เพออกซิเดส และกรดไขมัน เป็นสารตั้งต้นในการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์

2) เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) สามารถผลิตอนุมูลอิสระจากกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ในขั้นแรก (initiate oxidation)

3) เอนไซม์ไลพเพอออกซิเดส (lipoperoxidase) จะทำให้เกิดการสลายแคโรทีนอยด์เมื่อมีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งผลิตจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสหรือจากการเกิดออกซิเดชันโดยตัวเอง (autooxidation)

## 7. น้ำ

การเปลี่ยนแปลงสีของแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำเหลืออยู่น้อย เนื่องจากน้ำมีลักษณะเป็นฟิล์มล้อมรอบผลิตภัณฑ์จึงสามารถป้องกันแคโรทีนอยด์สัมผัสกับออกซิเจนได้ จึงมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย