



ความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุ และไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพ

Knowledge about Vitamins , Minerals and Phytonutrients in Healthy Food

(ฉบับปรับปรุง)



ผู้ช่วยศาสตราจารย์สกุลตรา คำชู



ความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุ และไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพ

Knowledge about Vitamins, Minerals and Phytonutrients in Healthy Food

(ฉบับปรับปรุง)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สกุสตรา คำชู



สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

วังบูรพา : 860-862 ถนนมหาไชย แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200

โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567 แฟกซ์ 0-2225-3300

ปิ่นเกล้า : 1/35-39 ถนนบรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

โทร. 0-2434-8814-5 แฟกซ์ 0-2424-0152



ความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุและไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพ

Knowledge about Vitamins, Minerals and Phytonutrients in Healthy Food

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สกุลตรา คำชู

ราคา 260 บาท

จัดทำเป็นฉบับ E-Book ครั้งที่ 1 เดือนกันยายน พ.ศ. 2569

หนังสือเล่มนี้สงวนลิขสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2558

ห้ามผู้ใดพิมพ์ซ้ำ ลอกเลียน ส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้

ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรเท่านั้น

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

สกุลตรา คำชู.

ความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุและไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพ (Knowledge about Vitamins, Minerals and Phytonutrients in Healthy Food).--กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2569.
274 หน้า.

1. อาหารเพื่อสุขภาพ. 2. วิตามิน. 3. แร่ธาตุในโภชนาการ. II. ชื่อเรื่อง.

641.5637

ISBN (e-book) 978-616-538-384-4

ผู้จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

บรรณาธิการบริหาร : ประสาร สันติวัฒนา บรรณาธิการ : ภูสิทธิ พลายนภฏ กองบรรณาธิการ : สนธยา ราษีทอง จิตติมา เพ็ชรศรี
พิชญ์อักษร : จิระภรณ์ คัดดีแก้ว ฝ่ายศิลปกรรม : กองสุพันธ์ ขวแปะ ปัญญา ผูกสินธ์ ประยง อ่อนแสง เอกพันธ์ ขวแปะ
รูปเล่มและอาร์ตเวิร์ค : ชัยวัฒน์ แก้วกู เรียงพิมพ์ : ณศวรรณ พลสมศรี ออกแบบปก : อีรพล ศรีสวัสดิ์ ประสานงานการผลิต :
ปิยะวัลย์ พันธุ์แจ่ม กัญญา วงศ์คำ อรมา คงสุวรรณ

★ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ขอเรียนเชิญครู-อาจารย์และบุคคลทั่วไปทุกท่านที่สนใจในงานเรียบเรียง การเขียนเอกสารประกอบ
การสอน เอกสารคำสอน ตำรา หนังสือ รายงานการพัฒนา นวัตกรรม งานประดิษฐ์ รวมทั้งผลงานทางวิชาการทุกสาขา
และมีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบผลงานถูกต้องตามหลักวิชาการให้อีกด้วย ทั้งนี้ให้ส่งสำเนาต้นฉบับ ประวัติ สถานที่ทำงาน เบอร์โทรศัพท์ ที่อยู่
สามารถติดต่อได้สะดวกมาในนาม บรรณาธิการ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ 1/35-39 ถนนบรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์
เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700 ★

❖ ในกรณีที่ท่านต้องการซื้อเป็นจำนวนมาก เพื่อใช้ในการสอน การฝึกอบรม และส่งเสริมการขาย เป็นต้น
กรุณาติดต่อสอบถามราคาพิเศษได้ที่ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ทุกสาขา : สาขาปิ่นเกล้า โทร. 0-2434-8814-5;
สาขาวังบูรพา โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567 ❖

โอ. เอส. พรินต์ติ้ง เฮาส์

113/13 ซอยวัดสุวรรณคีรี ถนนบรมราชชนนี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

โทร. 0-2433-3653, 0-2434-6850-1

คำนำ

หนังสือเรื่องความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุและไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพเล่มนี้ จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เผยแพร่เนื้อหาวิชาการด้านอาหารและโภชนาการเพื่อสุขภาพให้กับสถานศึกษาเพื่อนำไปใช้เป็นประโยชน์แก่การศึกษา หรือเพิ่มพูนความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ที่มีพื้นฐานความรู้ด้านโภชนาการด้านชีวเคมี นักวิจัยและผู้พัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ ผู้เขียนได้ปรับปรุงเนื้อหาให้มีความทันสมัยอย่างสม่ำเสมอ โดยอ้างอิงจากบทความทางวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื้อหาในหนังสือทั้ง 7 บท ได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านโภชนาการและด้านสุขภาพ จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ยิ่งสำหรับท่านผู้อ่าน และเป็นเครื่องมือช่วยส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาของเยาวชนไทยให้มีความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุและไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพได้อีกทางหนึ่ง

สกุลตรา คำชู

คำนิยม

ด้วยดิฉันได้รับเกียรติให้เป็นผู้ทรงคุณวุฒิทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องเนื้อหาในหนังสือเรื่อง ความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุและไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพ เล่มนี้ ซึ่งจากการร่วมทำงานกับผู้เขียน ทำให้ดิฉันสัมผัสได้ว่าผู้เขียนเป็นผู้มีความรู้และประสบการณ์ทางด้านอาหารและโภชนาการอย่างลึกซึ้ง มีการเชื่อมโยงเนื้อหาเกี่ยวกับ สารพฤกษเคมี หรือ ไฟโตนิวเทรียนท์ และสารอาหารสำคัญที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ ซึ่งถ่ายทอดออกมาได้ตรงประเด็น ถูกต้องตามหลักวิชาการ นอกจากด้านวิชาการแล้วผู้เขียนยังเป็นผู้มีจิตอาสา สละเวลาทำกิจกรรมร่วมกับชุมชนถ่ายทอดความรู้ทางด้านอาหารและโภชนาการ ตลอดจนเป็นผู้อุทิศตนในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้เพื่อเผยแพร่ให้กับสถานศึกษา หน่วยงานและชุมชน เพื่อให้ผู้ที่สนใจได้นำไปใช้เป็นประโยชน์อย่างต่อเนื่อง ดิฉันจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือที่มีคุณค่าทางวิชาการเล่มนี้และจะเป็นประโยชน์สำหรับท่านผู้อ่านเช่นกัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชฎานิษฐ์ พรหมเกทย์

รองคณบดีฝ่ายบริหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คำนิยม

ข้าพเจ้าได้อ่านหนังสือเรื่อง ความรู้เรื่องวิตามิน แร่ธาตุและไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารเพื่อสุขภาพ เขียนโดยอาจารย์สกลตรา คำชู อาจารย์ประจำสาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ข้าพเจ้าขอชื่นชมผู้เขียนเป็นอย่างมากที่สามารถหยิบยกประเด็นด้านอาหารเพื่อสุขภาพและโภชนาการ ที่หลายท่านลืมนึกถึงความจำเป็นและคุณค่าของวิตามิน แร่ธาตุและไฟโตนิวเทรียนท์ในอาหารตามธรรมชาติ ได้นำมาถ่ายทอดลงในหนังสือเล่มนี้ ซึ่งมีเนื้อหาอ่านเข้าใจง่าย เขียนถูกต้องตามหลักวิชาการ เนื้อหาของแต่ละบทมีความทันสมัย อ้างอิงจากบทความวิจัย บทความทางวิชาการ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ นับว่าเป็นหนังสือที่มีคุณค่าทางวิชาการยิ่ง เหมาะสมสำหรับใช้เป็นหนังสือประกอบการเรียนการสอนได้ทุกระดับ และใช้เป็นแหล่งเพิ่มพูนความรู้ ความเข้าใจ สำหรับผู้ที่สนใจเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและเพื่อโภชนาการที่ดีของร่างกาย ได้เป็นอย่างดี

ร้อยโทหญิง แพทย์หญิงฐิรญาดา คงมาลัย

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
คำนิยาม	ข
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 เบตาแคโรทีน	1
โครงสร้าง บทบาทหน้าที่และกลไกการทำงาน	1
การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย	16
แหล่งของแคโรทีนอยด์	18
ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	19
หลักการวิเคราะห์ปริมาณเบตาแคโรทีนในอาหาร	27
ประโยชน์ต่อสุขภาพจากเบตาแคโรทีน	34
บทบาทหน้าที่เบตาแคโรทีน	38
อาหารที่เป็นแหล่งของเบตาแคโรทีน	40
อาหารที่มีสารเบตาแคโรทีนสูง	41
สรุป	42
เอกสารอ้างอิง	44
บทที่ 2 วิตามิน	51
วิตามินบีหนึ่ง	51
วิตามินบีสอง	55
วิตามินบีสาม	57
วิตามินบีห้า	60
วิตามินบีหก	63
วิตามินบีเจ็ด	65
วิตามินบีเก้า	68
วิตามินบีสิบสอง	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิตามินบีสิบห้า	76
วิตามินบีสิบเจ็ด	78
สรุป	79
เอกสารอ้างอิง	81
บทที่ 3 วิตามินซี	83
โครงสร้าง บทบาทหน้าที่และกลไกการทำงาน	83
บทบาทของวิตามินซีที่มีต่อร่างกาย	89
ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	93
อาหารที่เป็นแหล่งของวิตามินซี	95
หลักการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ในอาหาร	102
ประโยชน์ต่อสุขภาพ	107
ประโยชน์ของวิตามินซี	112
อาหารที่มีวิตามินซีในปริมาณมาก	115
สรุป	116
เอกสารอ้างอิง	118
บทที่ 4 วิตามินอี	123
โครงสร้าง บทบาทหน้าที่และกลไกการทำงาน	123
การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย	128
ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	128
อาหารที่เป็นแหล่งของวิตามินอี	130
ผลของการได้รับมากเกินไป	133
ประโยชน์ของวิตามินอีต่อร่างกาย	142
สรุป	146
เอกสารอ้างอิง	148
บทที่ 5 ไลโคปีน	151
โครงสร้าง บทบาทหน้าที่และกลไกการทำงาน	151

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย	153
ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	154
อาหารที่เป็นแหล่งของไลโคปีน	158
ประโยชน์ของไลโคปีน	163
สรุป	166
เอกสารอ้างอิง	167
บทที่ 6 ซีลีเนียม	171
โครงสร้าง บทบาทหน้าที่และกลไกการทำงาน	171
หน้าที่สำคัญของซีลีเนียม	174
การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย	178
ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	180
อาหารที่เป็นแหล่งของซีลีเนียม	180
ปริมาณที่แนะนำให้บริโภค	183
ประโยชน์ต่อสุขภาพของซีลีเนียม	188
สรุป	191
เอกสารอ้างอิง	193
บทที่ 7 สารอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ	197
ความหมายของสารอนุมูลอิสระ	197
การเกิดอนุมูลอิสระ	202
บทบาทของอนุมูลอิสระกับการเกิดโรค	204
อาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง	219
การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	222
อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ	227
บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระ	230
สรุป	234
เอกสารอ้างอิง	237

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ดัชนี	241
ประวัติผู้เขียน	255

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และแคโรทีน (carotene) ที่ตำแหน่งโคน (head) และปลาย (tail) ของผลปาล์มน้ำมันในระยะสุก	24
ตารางที่ 1.2 ปริมาณแคโรทีน เบตาแคโรทีน สารตั้งต้นของวิตามิน มีในพีชฝัก 100 กรัม	25
ตารางที่ 1.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม	26
ตารางที่ 1.4 ปริมาณเบตาแคโรทีนในน้ำมันที่สกัดจากผลปาล์ม	27
ตารางที่ 1.5 ปฏิชีวนะบางชนิดที่มีผลต่อการผลิตแคโรทีนอยด์ในเชื้อรา	30
ตารางที่ 1.6 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดแสง (extinction coefficient: $E_{1\%}^{1\text{cm}}$) ของแคโรทีนอยด์	32
ตารางที่ 1.7 การนำแคโรทีนอยด์ สารสีหรือรงควัตถุ ไปใช้ประโยชน์	36
ตารางที่ 2.1 ปริมาณที่แนะนำให้ได้รับวิตามินบีหนึ่ง หรือ ไทอะมีน (thiamine) ต่อวัน	55
ตารางที่ 2.2 ปริมาณที่แนะนำให้ได้รับวิตามินบีสอง หรือ ไรโบเฟลวิน (riboflavin) ต่อวัน	57
ตารางที่ 2.3 ปริมาณที่แนะนำให้ได้รับวิตามินบีสาม หรือ ไนอะซิน (niacin) ต่อวัน	59
ตารางที่ 2.4 ปริมาณที่แนะนำให้ได้รับวิตามินบีหก หรือ ไพริดอกซิน (pyridoxine) ต่อวัน	65
ตารางที่ 2.5 ปริมาณที่แนะนำให้ได้รับวิตามินบีเก้า หรือ กรดโฟลิก (folic acid) ต่อวัน	71
ตารางที่ 2.6 ปริมาณที่แนะนำให้ได้รับวิตามินบีสิบสอง หรือ โคบาลามิน (cobalamin) ต่อวัน	75
ตารางที่ 3.1 ปริมาณวิตามินซีแนะนำให้บุคคลแต่ละวัยควรได้รับในแต่ละวัน	96
ตารางที่ 3.2 ปริมาณวิตามินซีที่ได้รับจากการบริโภคอาหารจากผักและผลไม้	98
ตารางที่ 3.3 ชนิดและปริมาณวิตามินซีจากผักและผลไม้	100
ตารางที่ 3.4 ปริมาณวิตามินซีที่ควรได้รับในแต่ละวัน สำหรับคนไทย	102
ตารางที่ 3.5 ปริมาณวิตามินซีในอาหารที่พบในผักผลไม้แต่ละชนิด	103
ตารางที่ 4.1 ปริมาณที่แนะนำให้รับประทานวิตามินอีในแต่ละวัย	130
ตารางที่ 4.2 ปริมาณควรได้รับต่อวันของโทโคฟีรอลและโทโคทีนอยด์ แอลฟา (α -) เบตา (β -) แกมมา (γ -) และเดลตา (δ -) ในประเทศอเมริกา	131
ตารางที่ 4.3 ปริมาณวิตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอลและกลุ่มโทโคไตรอีนอล ในน้ำมันพืช	132
ตารางที่ 4.4 ความต้องการวิตามินอีใน 1 วัน ตามเกณฑ์ของกรมอนามัย	138
ตารางที่ 4.5 อาการของตาแห้ง หรือ ซีรอฟthalmia (xerophthalmia) ตามเกณฑ์ของ WHO	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.6 อาการและอัตราการเกิดปัญหาการขาดวิตามินอีเปรียบเทียบกับเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก	141
ตารางที่ 6.1 ปริมาณซีลีเนียมในอาหาร 100 กรัม (ไมโครกรัม)	184
ตารางที่ 6.2 ปริมาณซีลีเนียมที่แนะนำควรได้รับในหนึ่งวัน (Recommended Dietary Allowances (RDAs) for Selenium) แรกเกิดถึง 51 ปี ขึ้นไป	188
ตารางที่ 6.3 ปริมาณซีลีเนียมที่ควรได้รับในแต่ละอายุ (อายุแรกเกิดถึง 19 ปี ขึ้นไป)	189
ตารางที่ 7.1 อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง	201
ตารางที่ 7.2 ข้อดีและข้อเสียของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ	215
ตารางที่ 7.3 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ	217

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของเบตาแคโรทีน (beta-carotene; β -carotene)	2
ภาพที่ 1.2 โครงสร้างของกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids structure)	5
ภาพที่ 1.3 ผลของความคงตัวของปริมาณแอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) และเบตาแคโรทีน (beta carotene) ในน้ำแครอทที่แปรรูป	7
ภาพที่ 1.4 พลาสติด (plastid)	9
ภาพที่ 1.5 ผักและผลไม้ที่มีเบตาแคโรทีน	11
ภาพที่ 1.6 การนับธาตุคาร์บอนในโครงสร้างแคโรทีนอยด์	14
ภาพที่ 1.7 กลไกการดูดซึมของเรตินอลและเบตาแคโรทีน	18
ภาพที่ 1.8 ผักและผลไม้ที่มีปริมาณเบตาแคโรทีนสูง	38
ภาพที่ 1.9 ผักและผลไม้ที่มีเบตาแคโรทีน	41
ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของวิตามินบีหนึ่ง	53
ภาพที่ 2.2 อาหารที่มีวิตามินบีหนึ่ง	54
ภาพที่ 2.3 อาหารที่มีวิตามินบีสอง	56
ภาพที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของวิตามินบีสาม	58
ภาพที่ 2.5 อาหารที่มีวิตามินบีสาม	59
ภาพที่ 2.6 วิตามินบีห้า หรือ กรดแพนโทเทนิค	60
ภาพที่ 2.7 สูตรโครงสร้างวิตามินบีหก หรือ ไพริดอกซิน	64
ภาพที่ 2.8 อาหารที่มีวิตามินบีหก	65
ภาพที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของไบโอติน	66
ภาพที่ 2.10 อาหารที่มีวิตามินบีเจ็ด หรือ ไบโอติน	68
ภาพที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของกรดโฟลิก	70
ภาพที่ 2.12 อาหารที่มีวิตามินบีเก้าหรือกรดโฟลิก	71
ภาพที่ 2.13 สูตรโครงสร้างวิตามินบีสิบสอง	76
ภาพที่ 2.14 อาหารที่มีวิตามินบีสิบสอง	76
ภาพที่ 3.1 กลไกของสารต้านออกซิเดชันของวิตามินซี หรือ แอสคอร์บิกแอซิด	84
ภาพที่ 3.2 กลไกการสร้างเม็ดสีเมลานิน	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.3 ผักและผลไม้ที่มีวิตามินซีสูง	97
ภาพที่ 3.4 ผักและผลไม้สดเป็นแหล่งของวิตามินซี	104
ภาพที่ 3.5 ผลไม้ตระกูลส้มเป็นแหล่งวิตามินซีจากธรรมชาติ	110
ภาพที่ 3.6 อาการโรคลักปิดลักเปิด (symptoms of scurvy)	111
ภาพที่ 3.7 อาการแสดงมีเลือดออกบริเวณไรฟัน	112
ภาพที่ 3.8 ผลไม้เป็นแหล่งอาหารที่มีวิตามินซีสูง	113
ภาพที่ 3.9 น้ำส้มคั้นมีวิตามินซีสูง	115
ภาพที่ 4.1 โครงสร้างสารอนุพันธ์ของวิตามินอี	124
ภาพที่ 4.2 โครงสร้างทางเคมีวิตามินอี หรือ แอลฟาโทโคฟีรอล (Chemical structure of alpha tocopherol)	126
ภาพที่ 4.2 ลักษณะอาการเกิดโรคลูกตา	139
ภาพที่ 4.3 อาการแผลที่กระจกตา/กระจกตาขุ่นเหลวเป็นวุ้น (Corneal ulceration/ keralomalacia) น้อยกว่า 1 ใน 3 ของเนื้อที่กระจกตาและแผลที่กระจกตา/กระจกตาขุ่นเหลวเป็นวุ้น (Corneal ulceration/ keralomalacia) มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 3 ของเนื้อที่กระจกตา	140
ภาพที่ 4.4 อาหารที่เป็นแหล่งของวิตามินอี	144
ภาพที่ 5.1 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน	152
ภาพที่ 5.2 มะเขือเทศและซอสมะเขือเทศ แหล่งไลโคปีนชั้นดี	153
ภาพที่ 5.3 สารไลโคปีนทำให้ผิวขาวสว่างกระจ่างใสขึ้น	156
ภาพที่ 5.4 ไลโคปีนมีมากใน มะเขือเทศ แดงโม เกรพฟรุตสีชมพู ฝรั่งสีชมพู และมะละกอ	159
ภาพที่ 5.5 ผลฟักข้าว	160
ภาพที่ 5.6 ปริมาณไลโคปีนที่มีในผลิตภัณฑ์ซอสและเครื่องดื่ม	161
ภาพที่ 5.7 ไลโคปีนมีในอาหาร	162
ภาพที่ 5.8 อาหารที่มีสีแดงแสดงควมมีปริมาณไลโคปีนสูง	162
ภาพที่ 5.9 ไลโคปีนส่งผลต่อเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก	164
ภาพที่ 6.1 ผู้ป่วยโรคกระดูกข้ออักเสบ (osteoarthritis) ชนิด Kashin-Beck disease	176

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 6.2 อาหารที่มีซีรีเนียมสูง	181
ภาพที่ 7.1 การแสดงออกมาในรูปแบบของรีรอยแก่อนวัย	197
ภาพที่ 7.2 อะตอมหรือโมเลกุลสูญเสียอิเล็กตรอน	198
ภาพที่ 7.3 การเกิดอนุมูลอิสระที่อวัยวะใดมากจะเกิดความเสื่อมหรือโรคต่าง ๆ ที่บริเวณนั้น	205
ภาพที่ 7.4 การเกิดสารป้องกันหรือยับยั้งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ	206
ภาพที่ 7.5 ยอดและใบชาเขียว	219
ภาพที่ 7.6 ผลมะขามป้อม	220
ภาพที่ 7.7 สารสกัดจากเมล็ดองุ่น	220
ภาพที่ 7.8 แครอทสด	221
ภาพที่ 7.9 ฟักทองสด	221
ภาพที่ 7.10 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ	226

บทที่ 1

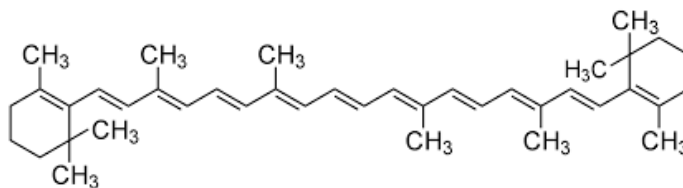
เบตาแคโรทีน

โครงสร้าง บทบาทหน้าที่และกลไกการทำงาน

เบตาแคโรทีน (beta carotene; β -carotene) มีสูตรโมเลกุล ($C_{40}H_{56}$) เป็นหนึ่งในไอโซเมอร์ (isomer) ของแคโรทีน (carotene) และเป็นโมเลกุลที่มีสูตรเคมีเหมือนกัน แต่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกัน ซึ่งพบในธรรมชาติ 3 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ แอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene; α -carotene) เบตาแคโรทีน (beta-carotene; β -carotene) และแกมมาแคโรทีน (gamma-carotene; γ -carotene) โครงสร้างหลักของแคโรทีนอยด์จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 40 อะตอม (Bell et al., 2000) และมีหน่วยของไอโซพรีน (isoprene) 8 หน่วยที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือรังสียูวี (ultraviolet; UV) ได้ดี (Oliver & Palou, 2000) โดยเบตาแคโรทีนเป็นชนิดที่พบมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 85 ของทั้งหมด ซึ่งจะเป็นผลึกของสารสีแดงไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกายแล้วเบตาแคโรทีนจะแตกตัวให้วิตามินเอที่ตับ ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ เบตาแคโรทีน มีบทบาทสำคัญในการรักษาสุขภาพซึ่งเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้ร่างกายแข็งแรง ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสะสมไว้ที่ผิวหนัง (Blake, 2008) โดยเบตาแคโรทีน จะทำปฏิกิริยาด้านการเกิดออกซิเดชันระหว่างอนุมูลอิสระกับสารสำคัญในเซลล์ที่มีชีวิตซึ่งแย่งทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระก่อนแล้วขับถ่ายออกไปตามระบบขับถ่ายต่าง ๆ ของร่างกาย เซลล์จึงรอดจากกระบวนการทำลายโดยอนุมูลอิสระ เรียกกระบวนการในการแย่งทำปฏิกิริยาของเบตาแคโรทีนกับอนุมูลอิสระว่า การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ แอนติออกซิแดนท์ (antioxidants) มีรายงานการศึกษา พบว่า สารเบตาแคโรทีน (beta-carotene) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Paiva & Russell, 1999)

จากรายงานพบว่า แอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) ซึ่งอยู่ในกลุ่มแคโรทีน (carotene) มีฤทธิ์เป็นแอนติออกซิแดนท์ (antioxidants) สูงกว่าเบตาแคโรทีนแต่จะมีฤทธิ์ต่อเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วเท่านั้น พบสารสีหรือรงควัตถุของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) กว่า 600 ชนิดในอาหาร แต่มีเพียง 6 ชนิด ที่ร่างกายนำมาใช้ในกระแสเลือดหรือเนื้อเยื่อ ได้แก่ เบตาแคโรทีน (beta-carotene) อัลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) คริปโตแซนทิน (cryptoxanthin) ไลโคปีน (lycopene) ลูทีน (lutein) และซีแซนทิน (zeaxanthin) ซึ่งเป็นรงควัตถุ (pigment) และมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระต้านมะเร็ง และเป็นสารตั้งต้น หรือ ปริเคอร์เซอร์ (precursor) ของวิตามินเออีกด้วย ส่วนมากมักพบในผักและผลไม้ที่มีสีแดง ส้มและเขียว (Mezzomo & Ferreira, 2016) เช่น ฟักทอง แครอท มะละกอ บรอกโคลี ซึ่งปัจจุบัน

มีการค้นพบสารแคโรทีนอยด์มากกว่า 700 ชนิด เช่น แอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) เบตาแคโรทีน (beta-carotene) ไลโคปีน (lycopene) เป็นต้น (Nishino et al., 2009) และพบว่ามีการศึกษามากมาย ทั้งการศึกษาในหลอดทดลอง หรือ อินวิโทร (in vitro) และการศึกษาในสัตว์ทดลอง หรือ อินวิโว (in vivo) ที่เกี่ยวกับบทบาทของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ในการยับยั้งกลไกการเกิดเซลล์มะเร็ง เช่น ยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ ยับยั้งกระบวนการซ่อมแซมตัวเองและกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์ สารกลุ่มแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดที่มีผลในการยับยั้งกลไกการเกิดเซลล์มะเร็งในระดับโมเลกุลประโยชน์และการป้องกันการเกิดมะเร็ง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจที่สนใจฤทธิ์ของสารจากธรรมชาติที่อาจนำไปพัฒนาในรูปแบบอาหารเสริมสุขภาพต่อไป



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของเบตาแคโรทีน (beta-carotene; β -carotene)

(Shankaranarayanan et al., 2018)

แคโรทีนอยด์ (carotenoid) สามารถแบ่งตามโครงสร้างทางเคมีได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ (Rucker et al., 2008)

1. กลุ่มที่เป็นไฮโดรเจนคาร์บอน แคโรทีน (Hydrocarbon Carotenes) กลุ่มของอนุพันธ์ไฮโดรจีเนตแคโรทีนอยด์ (hydrogenated carotenoid derivatives) โครงสร้างจะประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมกับไฮโดรเจนอะตอม มีสูตรโมเลกุล คือ $C_{40}H_{56}$ เป็นสารไม่มีขั้วไม่ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ แต่สามารถละลายในไขมัน เอธิลอีเทอร์และคลอโรฟอร์ม แคโรทีนอยด์ กลุ่มนี้ได้แก่ เบตาแคโรทีน (beta-carotene) แอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) ลูทีน (lutein) และไลโคปีน (lycopene) เป็นต้น สามารถถูกสังเคราะห์ต่อไปเป็นวิตามินเอในร่างกายของสัตว์ได้ พบได้ในพืชและสาหร่ายทุกชนิด เป็นสารหรือรงควัตถุสีเหลือง สีส้ม

2. กลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล แซนโทฟิลล์ (Oxygenated Xanthophylls) กลุ่มของอนุพันธ์แคโรทีนอยด์ที่ถูกเติมออกซิเจน (oxygenated carotenoid derivatives) ซึ่งเป็นกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่อนุพันธ์ที่ประกอบด้วยออกซิเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เมทอกซิลคีโต (methoxyl keto) หรือ อีพอกซี (epoxy) รวมเรียกว่า แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ที่มีขั้วลบมากกว่า และละลายในไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนในกลุ่มแรก ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในเอธิลแอลกอฮอล์และเอธิลอีเทอร์ พบในพืชโดยทั่วไป เช่น ข้าวโพด พริกแดง มะละกอสุก ส้มและ

สำหรับทุกชนิด ตัวอย่างแคโรทีนในกลุ่มนี้ได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีแซนทีน (zeaxanthin) และแอสตาแซนทีน (astaxanthin) นีโอแซนทีน (neoxanthin) ไวโอลาแซนทีน (violaxanthin) ฟลาโวแซนทีน (flavoxanthin) แอลฟา คริปโทแซนทีน (alpha-cryptoxanthin) และเบตาคริปโทแซนทีน (beta-cryptoxanthin) เป็นสารสีเหลือง (Koley et al., 2018)

สารลูทีน (Lutein) เป็นสารสกัดจากธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มสารที่มีสีเหลืองจำพวกแคโรทีนอยด์ พบมากในไข่แดง ดอกดาวเรือง โกจิเบอร์รี่ และผักที่มีสีเขียวเข้ม เป็นสารแคโรทีนอยด์ที่พบได้ในโครงสร้างต่าง ๆ ของดวงตา ได้แก่ ในชั้นเรตินาโดยเฉพาะบริเวณศูนย์กลางการมองเห็นที่เรียกว่า จุดเหลืองจอตตา หรือ แมคูลาลูเตีย (macularlutea) เป็นส่วนกลางของม่านตาซึ่งเป็นชั้นการประมวลผลแสงของด้านหลังของตาและเลนส์แก้วตา เป็นต้น (Bone et al., 1997) สารลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสีเหลือง ถูกจัดอยู่ในสารกลุ่ม แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) พบได้ในผัก ผลไม้หลายชนิด เช่น กะหล่ำ ผักโขม ผักกาด บรอกโคลี ข้าวโพด และแครอท ซึ่งควรได้รับสารลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) ควบคู่กัน เพราะสารสองชนิดนี้มีบทบาทต่อการสะสมเม็ดสีในดวงตา ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันอันตรายจากแสงสีฟ้าได้ ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยหลายชิ้นที่รองรับผลของการได้รับ ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) มีผลในการป้องกันและชะลอความเสื่อมของดวงตา โดยลดการสะสมของสารอนุมูลอิสระในดวงตา รวมทั้งชะลอความรุนแรงของอาการจอประสาทตาเสื่อม รวมถึงต่อกระจกได้อีกด้วย

แอสตาแซนทีน (astaxanthin) หรืออาจเรียกว่า คีโตแคโรทีนอยด์ (ketocarotenoid) เป็นสารสีหรือรงควัตถุ (pigment) ในกลุ่มแซนโทฟิลล์ตระกูลแคโรทีนอยด์ ที่ให้สีชมพูถึงสีแดง พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น พบมากในสัตว์ทะเล ปลาแซลมอน เปลือกกุ้ง ปู ไข่ปลาคาร์เวียร์ และมากที่สุดในสาหร่ายขนาดเล็ก ไมโครแอลจี เฮมาโทคอกคัส พลูวิลลิส (microalgae haematococcus pluvialis) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ หรือ แอนติออกซิเดนท์ (antioxidants) ที่มีปริมาณสูงมาก สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของไขมันและจากการทำลายของเซลล์เมมเบรนและเนื้อเยื่ออันเนื่องมาจากออกซิเจน โดยแอสตาแซนทีน (astaxanthin) ที่ได้รับจากอาหารนั้นจะไปสะสมตามส่วนต่าง ๆ เช่น หนังกล้ามเนื้อ โครงกระดูก ตลอดจนอวัยวะสืบพันธุ์ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่น เนื้อปลาแซลมอน ปลาเทราท์ สายรุ้งที่มีสีส้มแดงทำให้ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค แอสตาแซนทีน (astaxanthin) จึงเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภค นอกจากจะเป็นสารสีหรือเม็ดสีรงควัตถุหรือพิกเมนต์ (pigment) ที่ให้สีส้มที่สวยงามแล้วยังมีคุณค่าและประโยชน์ต่อสุขภาพด้วย

ไวโอลาแซนทีน (violaxanthin) เป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหนึ่ง ในกลุ่มแซนโทฟิลล์ ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุให้สีส้มในพืชผักและผลไม้หลายชนิด พบมาก ในผลกีวี่ องุ่นและมะม่วงสุก นอกจากนี้ ยังอาจพบ

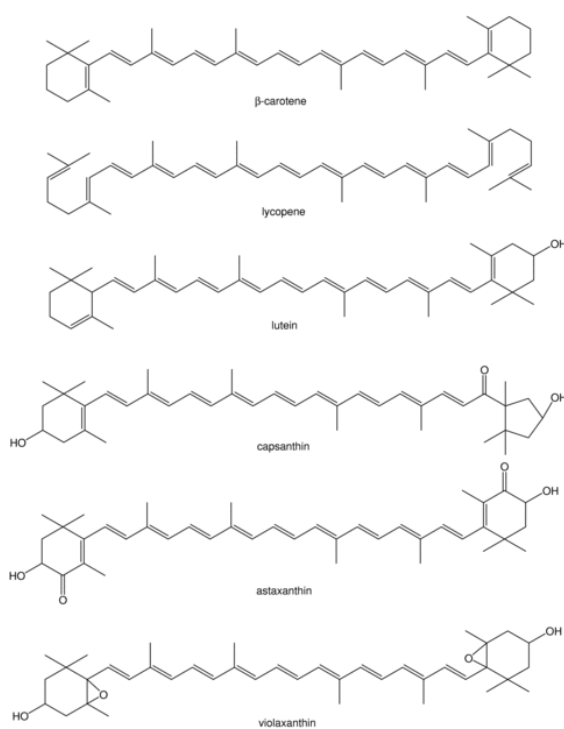
ได้ในพลาสมาร่วมกับซีแซนทีน ไวโอลาแซนทีน ถูกนำมาผลิตเป็นวัตถุแต่งเติมอาหารจำพวกสีผสมอาหารจากธรรมชาติ (E161e)

นีโอแซนทีน (neoxanthin) เป็นแคโรทีนอยด์กลุ่มแซนโทฟิลล์พบในพืชผักใบเขียว เช่น ผักขม ซึ่งเปลี่ยนรูปมาจากไวโอลาแซนทีนด้วยปฏิกิริยาการสังเคราะห์นีโอแซนทีน จากรายงานพบว่า นีโอแซนทีนสามารถชะลอการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากได้ ซึ่งทำหน้าที่ในการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของเซลล์มะเร็ง (Asai, Terasaki, & Nagao, 2004)

เบตา-คริปโตแซนทีน (beta-cryptoxanthin) เป็นสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ มักพบมากในผลไม้ ได้แก่ ส้ม มะละกอและส้ม (Burri, 2015) และยังพบได้ในไข่แดงและเนย ละลายได้ดีเล็กน้อยในเอทานอล ละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มและเบนซีน มีคุณค่าทางโภชนาการ เพราะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ (provitamin A) จากการศึกษาดังกล่าวสาร เบตา-คริปโตแซนทีน อาจจะช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งได้ และยังมีรายงานการศึกษา พบว่า เบตาคริปโตแซนทีน สามารถลดการเกิดมะเร็ง ปอดที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสาร 4-(methyl nitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่พบในยาสูบ ในหนูถีบจักร (A/J) ได้แบบขึ้นกับความเข้มข้นของเบตาคริปโตแซนทีน อย่างมีนัยสำคัญ และนอกจากนี้ ยังพบว่า สารเบตา-คริปโตแซนทีน ยังมีกลไกการแสดงออกของตัวรับนิโคตินิก อะเซทิลโคลีน รีเซพเตอร์ (nicotinic acetylcholine receptor $\alpha 7$; $\alpha 7$ -nAChR) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็งปอด ในระดับเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอ (messenger ribonucleic acid; mRNA) และโปรตีน (Iskandar et al., 2016)

แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นอนุพันธ์ของไขมันไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในตัวทำละลายไขมัน เช่น อะซิโตน (acetone) แอลกอฮอล์ (alcohol) ไดเอทิลอีเทอร์ (diethylether) และคลอโรฟอร์ม (chloroform) เป็นต้น (Fox & Vevers, 1960) มีรายงานเพิ่มว่าแคโรทีนอยด์ชนิดที่เป็นแคโรทีนจะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น ปีโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) และเฮกเซน (hexane) ขณะที่ชนิดที่เป็นแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ ซึ่งแคโรทีนอยด์มีความคงทนต่อความเป็นกรดและด่างแต่ไวต่อแสงแดดและความร้อน จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเฉพาะสภาวะที่มีโลหะเปอร์ออกไซด์ปนอยู่ (Simpson, Tsou, & Chichester, 1989) จากรายงานการศึกษาจำนวนมากสรุปและพบว่า แคโรทีนอยด์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มแคโรทีน (carotene) ได้แก่ แอลฟา (alpha; α) เบตา (beta; β) และเอปซิลอน (epsilon; ϵ) กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) มีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลจึงมีขั้วมากกว่าและละลายในไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์กลุ่มแรก ตัวอย่าง แคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีแซนทีน (zeaxanthin) และแอสตาแซนทีน (Simpson et al., 1989) ซึ่งปัจจุบัน พบว่า แคโรทีนอยด์ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติและมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดมะเร็ง ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene)

เบตาแคโรทีน (beta-carotene) เบตาคริปโทแซนทีน (beta-cryptoxanthin) ไลโคปีน (lycopene) ลูทีน (lutein) และ ซีแซนทีน (zeaxanthin) (Murakoshi et al., 1992) ซึ่งลูทีนและซีแซนทีน ช่วยปกป้องดวงตาจากโรคจอประสาทตาเสื่อมเนื่องจากอนุมูลอิสระทำลาย ลูทีนช่วยจัดการกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากรังสียูวี (UV) ที่เป็นอันตรายต่อดวงตาและช่วยชะลอการเสื่อมของศูนย์กลางจอประสาทตา อันเป็นสาเหตุอันดับหนึ่งของการ ตาบอดในในผู้ที่มีอายุ 65 ปี ขึ้นไป ลูทีน พบมากในผักขม กะหล่ำใบ และดอกดาวเรือง ไม่มีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอ เช่นเดียวกับไลโคปีน แต่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซีแซนทีน (zeaxanthin) ยังช่วยป้องกันมะเร็งอีกหลายชนิด ช่วยลดการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อร้าย ซีแซนทีน พบมากใน ผักขมและกระเจี๊ยบเขียว ซึ่งแต่ละชนิดจะมีฤทธิ์ดังต่อไปนี้



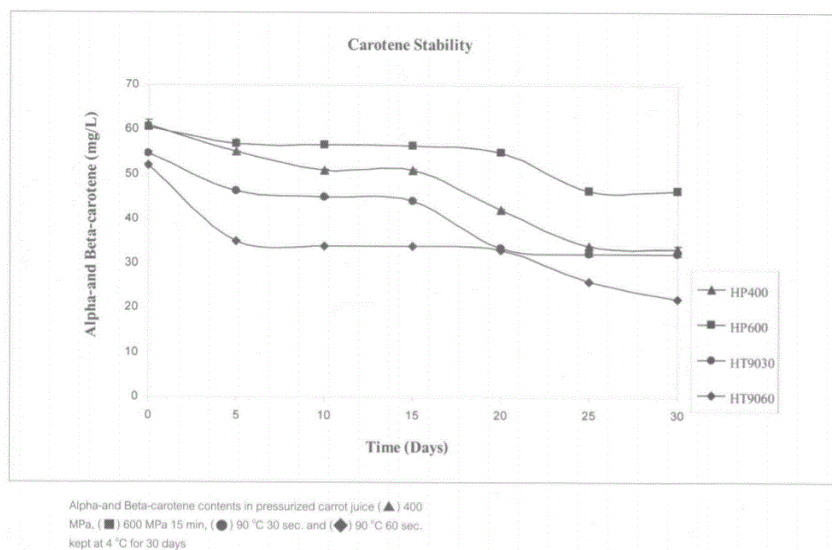
ภาพที่ 1.2 โครงสร้างของกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids structure) (Landrier, 2012)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของเบตาแคโรทีน

Gloria et al. (2014, pp. 1377-86) กล่าวว่า เบตาแคโรทีนในธรรมชาติส่วนใหญ่ หากได้รับแสงและความร้อนหรือรังสี โครงสร้างเกิดการบิดตัว 180 องศา เปลี่ยนเป็นรูปแบบซิส (cis form) ซึ่งจะไม่เสถียรมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดแสง (molecular extinction coefficient) ต่ำ สีจะจางลง สีที่ปรากฏจะอ่อนกว่ารูปแบบทรานส์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิด

เทอร์มอไอโซเมอไรเซชัน (thermal isomerization) ซึ่งจะเริ่มเกิดอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยยังคงมีสูตรโมเลกุลเท่าเดิม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเบตาแคโรทีนจากรูปแบบทรานส์ (trans form) เป็นรูปแบบซิส (cis form) จะเกิดขึ้นระหว่างการได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง มีผลทำให้เกิดการสูญเสียเบตาแคโรทีน ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะมีผลมากกว่าระยะของการให้ความร้อน เบตาแคโรทีน (beta carotene) มีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส จึงไม่ควรใช้ความร้อนแบบการใช้อุณหภูมิสูงแต่เป็นเวลานาน ๆ อย่างเช่น การพาสเจอไรซ์แบบใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลานาน (high temperature short time; HTST)

ตัวอย่างผลของความคงตัวของปริมาณแอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) และเบตาแคโรทีน (beta carotene) ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำแครอทแปรรูปที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยน้ำแครอทที่แปรรูปด้วยความร้อน 400 และ 600 เมกะปาสคาล ความดันบรรยากาศมาตรฐาน เมกะปาสคาล (mega pascal; MPa) นาน 15 นาที และความร้อน 90 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที การแปรรูปอาหารจัดเป็นกระบวนการแปรรูปที่ไม่ใช้ความร้อน (non thermal processing) หรืออาจทำให้เกิดความร้อนขึ้นน้อยมาก งานที่เกิดจากการกดอัดในระหว่างการให้ความดัน (pressurization) หรือที่เรียกว่า อะเดียแบติกฮีท (adiabatic heat) นั้นจะทำให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้น (ประมาณ 3 องศาเซลเซียสต่อ 100 MPa) และขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะหายไปทันทีที่ลดความดันจนถึงระดับความดันบรรยากาศปกติ ตัวอย่างผลของความคงตัวของปริมาณแอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) และเบตาแคโรทีน (beta carotene) พบว่า มีอัตราการลดลงของแอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) และ เบตาแคโรทีน (beta-carotene) ปริมาณน้อยกว่าน้ำแครอทที่แปรรูปด้วยความร้อน 90 องศาเซลเซียส นาน 60 วินาที ซึ่งในช่วง 5 วันแรก หลังจากนั้นอัตราการลดลงของอัตราการลดลงของอัลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) และ เบตาแคโรทีน (beta-carotene) ค่อนข้างจะคงที่ และอัตราการลดลงของอัตราการลดลงของ แอลฟา-เบตา-แคโรทีน (alpha-beta-carotene) จะเกิดอีกครั้งจากวันที่ 15 ถึง วันที่ 30 จากสาเหตุที่น้ำแครอทที่ผ่านกระบวนการความดันสูงอาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ มีผลทำให้แอลฟาเบตาแคโรทีน (alpha-beta-carotene) ในน้ำแครอทเสื่อมสภาพ (Lisiewska et al., 1997) ดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ผลของความคงตัวของปริมาณแอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene) และเบตาแคโรทีน (beta carotene) ในน้ำแครอทที่แปรรูป (Lisiewska et al., 1997)

เบตาแคโรทีน (beta carotene)

Tang (2012, pp. 1185S-1188S) กล่าวว่า เบตาแคโรทีน (beta carotene; β -carotene) มีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ มวลโมเลกุล $536.87 \text{ g mol}^{-1}$ ลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็ง สีแดง-ม่วง ความหนาแน่น $0.91 \pm 0.06 \text{ g/cm}^3$ จุดหลอมเหลว 180-182 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการละลายน้ำและละลายได้ดีในไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) อะซิโตน (acetone) เบนซีน (benzene) คลอโรฟอร์ม (chloroform) และคาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulfide; CS_2) ละลายได้ปานกลางในปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) และน้ำมัน (oils) ละลายได้เล็กน้อยในเมทานอล (methanol) ในธรรมชาติพบ เบตาแคโรทีน (beta carotene) 3 แบบไอโซเมอร์ (isomer) ได้แก่ all-trans β -carotene, 9-cis β -carotene และ 15-cis β -carotene

โดยเป็นสารพฤกษเคมีที่มีไฟโตเคมีคอล (phytochemical) หรือ ไฟโตนิวเทรียนท์ (phytonutrients) เป็นกลุ่มสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืชทำให้ผักและผลไม้มีลักษณะกลิ่น รสชาติเฉพาะตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สีในผักและผลไม้ ให้ประโยชน์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ ในการยับยั้งและป้องกันโรค มีเม็ดสีที่กำหนดสีและเพิ่มสีสันให้กับผักผลไม้ เป็นสารประกอบไบโอแอคทีฟ (bioactive compounds) ที่พบได้ในอาหารประเภทพืชผักต่าง ๆ ต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดและโรคสำคัญที่มักจะกล่าวกันว่าสารกลุ่มนี้ช่วยป้องกันได้ คือ โรคมะเร็ง กลไกการทำงานของสารพฤกษเคมีเมื่อเข้าสู่ร่างกายอาจเป็นไปโดยการช่วยให้เอนไซม์บางกลุ่มทำงานได้ดีขึ้น เอนไซม์บางชนิดทำหน้าที่ทำลาย

สารก่อมะเร็งที่เข้าสู่ร่างกาย มีผลทำให้สารก่อมะเร็งหมดฤทธิ์ ซึ่งปัจจุบันพบสารพิษตกค้างเคมีแล้วมากกว่า 15,000 ชนิด โดยสามารถแบ่งตามชนิดของสีได้ 5 กลุ่ม ได้แก่

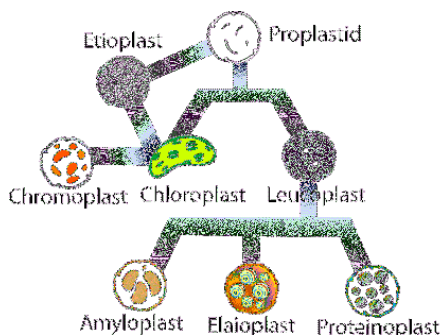
1. สีม่วง ได้แก่ กะหล่ำม่วง มะเขือม่วง มันเทศม่วง เซอร์รี่ และองุ่นม่วงหรือองุ่นแดง จะมีทั้งเบตาแคโรทีน (beta-carotene) และ ไลโคปีน (lycopene)
2. สีแดง ได้แก่ แดงโม พริกแดง กระเจี๊ยบและมะเขือเทศ จะมีไลโคปีน (lycopene)
3. สีเหลือง ได้แก่ สับปะรด มะม่วง มะละกอ หัวหอม ที่ให้รสขมในเปลือกของผลไม้พืชตระกูลส้ม (citrus fruit) เช่น เลมอน มะนาว และ ส้ม จะมีฟลาโวนอยด์ (flavonoid)
4. สีส้ม ได้แก่ ฝักทอง แครอท มะละกอและส้ม จะมีเบตาแคโรทีน (beta-carotene)
5. สีเขียว ได้แก่ ผักใบเขียวต่าง ๆ เช่น ผักกาดหอม ถั่วแขก ถั่วลันเตาและแตงกวา ผักเหล่านี้จะมีทั้งเบตาแคโรทีน (beta-carotene) ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin)

ดังนั้น ผักและผลไม้ที่เรารับประทานกันในชีวิตประจำวัน มีหลายสี เช่น สีแดง สีเหลือง สีม่วง สีส้มและสีเขียว เป็นต้น สารสีที่มีอยู่ในพืชนั้นมีประโยชน์ต่อร่างกายของเราอย่างมาก สีของผักและผลไม้แต่ละชนิดนอกจากจะทำให้ทำให้พืชมีสีสันสวยงามแล้ว ยังมีประโยชน์ต่อร่างกายแตกต่างกันอีกด้วย จึงไม่ควรเลือกรับประทานผักและผลไม้เพียงสีใดสีหนึ่ง แต่ควรเลือกรับประทานผักและผลไม้ที่มีสีต่างกัน เพื่อให้เกิดประโยชน์กับร่างกายสูงสุด สีต่าง ๆ เหล่านี้ เกิดจากสารสีที่มีอยู่ในออร์แกเนลล์ที่เรียกว่า พลาสติด (plastid) ซึ่งมีสีแตกต่างกัน จำแนกได้ 3 ชนิด คือ

1. โครโมพลาสต์ (chromoplast) เป็นพลาสติด (plastid) ซึ่งมีสารสี เม็ดสี หรือรงควัตถุ หรือพิกเมนต์ (pigment) เป็นสารที่ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพืชที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ ในพืชแต่ละชนิดได้สีแตกต่างกัน ยกเว้นสีเขียว จึงทำให้ดอกไม้ ใบไม้และผลไม้ มีสีสันสวยงาม เช่น ผลของพริก รากหรือหัวของแครอท เนื่องจากมีสารพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoids) จึงทำให้เกิดสีแดง สีส้มและสีเหลือง เป็นต้น

2. คลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นพลาสติด (plastid) ซึ่งมีสารสี เม็ดสี หรือรงควัตถุ หรือพิกเมนต์ (pigment) ที่มีสีเขียว เนื่องจากมีสารสีชนิดคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ นอกจากนั้นคลอโรพลาสต์ยังเป็นแหล่งสร้างอาหารของเซลล์พืชอีกด้วย

3. ลิโวพลาสต์ (leucoplast) เป็นพลาสติด (plastid) หรือรงควัตถุหรือ พิกเมนต์ (pigment) ที่ไม่มีสารสี แต่จะมีหน้าที่สะสมเม็ดแป้งที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง พบในเซลล์รากและลำต้นส่วนที่ไม่ไม่มีสี เช่น มันเทศ มันแกว เผือก หัวไชเท้า ถั่วงอก เป็นต้น ผลไม้ เช่น กัลยาดิบ มะม่วงดิบและใบพืชพบบริเวณที่ไม่มีสี เช่น ใบสาวน้อยประแป้ง ใบพลูต่าง เป็นต้น



ภาพที่ 1.4 พลาสติด (plastid) (วิกิพีเดีย, 2564)

แคโรทีนอยด์ ที่พบตามธรรมชาติมีหลากหลายชนิด เมื่อแบ่งชนิดของแคโรทีนอยด์ตาม โครงสร้าง จะแบ่งได้ทั้งหมด 6 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 อนุพันธ์พื้นฐาน อะไซคลิก แคโรทีน (acyclic carotenes) มีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่มีวงแหวน ได้แก่ ไฟโตเน (phytoene) ไฟโตฟลูเอน (phytofluene) ไลโคปีน (lycopene) ซีตาแคโรทีน (zeta-carotene; ζ-Carotene) และ นิวโรสปอรีน (neurosporene)

กลุ่มที่ 2 อนุพันธ์เบตาแคโรทีน ไซคลิก แคโรทีน (cyclic carotenes) จะมีโครงสร้างวงแหวนอยู่ที่ปลายของสายโซ่หลัก ได้แก่ เบตาแคโรทีน (beta-carotene; β-carotene) เบตาซีแคโรทีน (beta-zeacarotene; β-zeacarotene), แอลฟาซีแคโรทีน (alpha-zeacarotene; α-zeacarotene), แกมมาแคโรทีน (gamma-carotene; γ-carotene) เดลตาแคโรทีน (delta-carotene; δ-carotene) และ แอลฟาแคโรทีน (alpha-carotene; α-carotene)

กลุ่มที่ 3 อนุพันธ์ของไฮดรอกซีแคโรทีนอยด์ (hydroxy carotenoids) ได้แก่ ไลโคแซนทิน (lycoxanthin) ไลโคฟิลล์ รูบิแซนทิน (lycophyll rubixanthin) เบตาคริปโตแซนทิน (β-cryptoxanthin) ลูทีน (lutein) ซีแซนทิน (zeaxanthin) และแอลฟาคริปโตแซนทิน (α-cryptoxanthin)

กลุ่มที่ 4 อนุพันธ์อีพอกซีแคโรทีนอยด์ (epoxycarotenoids) เช่น ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) และนีโอแซนทิน (neoxanthin)

กลุ่มที่ 5 อนุพันธ์ที่มีลักษณะเฉพาะมีโครงสร้างที่ไม่เข้ากลุ่มกับโครงสร้างอื่น ๆ (unique carotenoids) เช่น โครเซติน (crocetin) แคปแซนทิน (capsanthin) และบิซิน (bixin) เป็นต้น

กลุ่มที่ 6 แคโรทีนอยด์ที่พบในสัตว์ (animal carotenoids) คือ แคนตาแซนทิน (canthaxanthin) อีไคนิโนน (echinenone) ทูนาแซนทิน (tunaxanthin) และแอสตาแซนทิน (astaxanthin) (Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004)

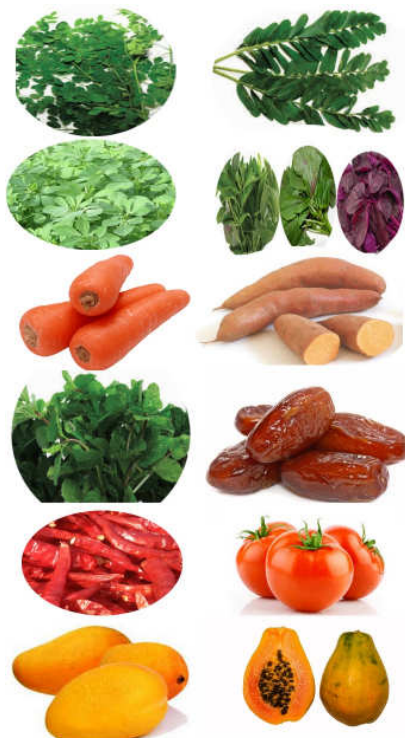
แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

Nishida et al. (2014, pp. 247-253) กล่าวว่า แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นวัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งมีรงควัตถุสีเขียวเรียกว่า คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) มีเอนไซม์และโมเลกุลอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น โครโมพลาสต์ของผลไม้ ดอกไม้ ใบของพืชยังพบได้ในสัตว์จุลชีพที่สังเคราะห์แสงได้และสาหร่าย แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่สามารถตรวจสอบโครงสร้างได้ มีมากกว่า 700 โมเลกุล ซึ่งพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โครงสร้างทางโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) จำนวน 8 หน่วย ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์กันและทำให้เกิดคอนจูเกชันของพันธะคู่เป็นสายยาว (extinctive conjugate double bond) ซึ่งเป็นผลให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงสีขาว ทำให้แคโรทีนเป็นสารมีสีและมีคุณสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือแอนติออกซิเดนท์ (antioxidants) โดยที่โมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจเป็นเส้นตรง ดังที่พบในไลโคพีน (lycopene) หรืออาจเป็นวงแหวนที่ปลายโซ่ของโมเลกุล ดังที่พบในเบตาแคโรทีน (β -carotene)

Das et al. (2015, pp. 226-233) กล่าวว่า สีของแคโรทีนอยด์ (carotenoids) จะผันแปรตามจำนวนพันธะคู่ยิ่งมีพันธะคู่จำนวนมากสีจะมีสีแดงเข้ม ทำให้ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ในพืช สาหร่ายและแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ เช่น แบคทีเรียสีเขียว (green sulphur bacteria) ซึ่งสีจะเกิดจากแคโรทีนอยด์มากกว่าแบคทีเรียโอคลอโรฟิลล์และแบคทีเรียสีม่วง (purple sulphur bacteria) ซึ่งมีแบคทีเรียโอคลอโรฟิลล์สีหรือแบคทีเรียโอคลอโรฟิลล์ดี แต่มีแบคทีเรียโอคลอโรฟิลล์น้อย อาจอยู่ในรูปแบบซิส (cis) และรูปแบบทรานส์ (trans) โดยแคโรทีนอยด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบทรานส์ทั้งหมด ส่วนรูปแบบซิสมักพบในปริมาณน้อย แต่ในอาหารจะอยู่ในรูปแบบอทรานส์ (all trans) เสียส่วนใหญ่ซึ่งจะมีสีเข้ม เมื่อเปลี่ยนเป็นรูปแบบซิส (cis) มากขึ้น สีจะซีดลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของแคโรทีนอยด์ คือ แสง ความร้อนและกรด

Wang (2014, pp. 1573-1578) กล่าวว่า แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารประกอบจำพวกไขมันไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในน้ำมันหรือไขมันและตัวทำละลายที่ไม่มีสภาพนำไฟฟ้า เช่น ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) แคโรทีนอยด์อยู่รวมกับคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ พบมากในดอกไม้ ผลไม้สุกหรือใบไม้ที่แก่จนจะร่วง ซึ่งไม่ได้มีบทบาทในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรง แต่เป็นตัวรับพลังงานจากแสงแล้วส่งต่อไปให้กับคลอโรฟิลล์ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอีกต่อหนึ่ง หากพืชชนิดใดมีเฉพาะแคโรทีนอยด์อยู่เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีคลอโรฟิลล์ พืชนั้นจะสังเคราะห์แสงเองไม่ได้ เพราะหน้าที่ของแคโรทีนอยด์มีเพียงรับพลังงานจากแสงแล้วส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์เท่านั้น การสังเคราะห์แสงไม่สามารถเกิดที่โมเลกุลของแคโรทีนอยด์ เพราะเกิดพลังงานไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังมีอยู่ในพลาสติด (plastid) ซึ่งมีรงควัตถุสีเขียว ซึ่งเรียกว่า คลอโรฟิลล์

(chlorophyll) โครโมพลาสต์ (chromoplast) มีรงควัตถุสีเหลือง ส้มและแดง ซึ่งเรียกว่า แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ที่อยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืชที่มีสี เช่น ดอกไม้สีเหลือง หัวแครอท ผลมะเขือเทศสุก ส่วนอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) ทำหน้าที่สะสมแป้ง นอกจากในพืชแล้ว ยังอาจมีอยู่ในเซลล์ของสัตว์ได้ เช่น ในเซลล์ที่มีสีชมพูของกุ้ง เป็นต้น



ภาพที่ 1.5 ผักและผลไม้ที่มีเบตาแคโรทีน (Gopalan et al., 2015)

Vrolijk et al. (2015, pp. 272-278) กล่าวว่า แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นไอโซพรีนอยด์ โพลีอิน (isoprenoid) ซึ่งสร้างจาก C_5 ไอโซพรีน มีโครงสร้างพื้นฐานทางเคมี 3 ตัว ได้แก่ ไอโซเพนทิล (isopentyl) ไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) และไอโซพรีน (isoprene) จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นไตรเทอร์พีน (triterpene) โดยมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ไอโซพรีน (isoprene) ที่อยู่ในองค์ประกอบนี้ จะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดสีและกลิ่นในแคโรทีนอยด์ ไอโซพรีนอยด์ (isoprene) ของพืชมีผลต่อการเจริญเติบโต เช่น ฮอร์โมน กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid) และมีส่วนทำให้เกิดเม็ดสีแดงเหลืองและส้ม แคโรทีนอยด์ (carotenoids) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งเป็นสารสีหรือรงควัตถุ (pigment) สีเขียวที่จำเป็นในการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) บางส่วนเช่นเดียวกับอัลคาลอยด์ (alkaloid) สารประกอบ

ไนโตรเจนที่มีอยู่ในพืชหลายชนิด เช่น ไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) หลายชนิดมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการเผาผลาญในสัตว์ เช่น เทตระเทอร์พีน แครโรทีนอยด์พิกเมนต์ (tetraterpene carotenoid pigments) เป็นสารประกอบอินทรีย์สีเหลือง ส้มและแดง ที่ผลิตโดยพืชและสาหร่าย รวมถึงแบคทีเรีย เห็ดราและสัตว์บางชนิด เป็นแหล่งของวิตามินเอ ซึ่งจำเป็นต่อการมองเห็นและเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การทำงานของระบบสืบพันธุ์และการพัฒนาระบบประสาทในสัตว์ ส่วนวิตามินอื่น ๆ ที่เป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) ทั้งหมดหรือบางส่วน ได้แก่ วิตามินอีสำคัญในการสืบพันธุ์และวิตามินเคที่จำเป็นสำหรับกระบวนการแข็งตัวของเลือด ยูบิควิโนน (ubiquinones) หรือ โคเอนไซม์คิวเทน (coenzyme Q10; CoQ10) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการได้รับพลังงานจากการออกซิเดชัน (oxidation) ของอาหารเกิดจากไอโซพรีนอยด์ ส่วนตัวของปลาและสัตว์อื่น ๆ อุดมไปด้วยน้ำมันซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไตรเทอร์พีนอยด์ (hydrocarbon triterpenoids) แบบอะไซโคลลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสควาลีน (squalene) ไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) อื่น ๆ ที่มีคุณค่าในอุตสาหกรรมและการพาณิชย์ ได้แก่ การบูร หรือแคมเพอะ (camphor) เมนทอล (menthol) และน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอม หรือ ชิทรเนลลอะอย (citronella oil) เป็นต้น นอกจากนี้คุณสมบัติอื่น ๆ มีดังต่อไปนี้

1. ความเป็นกรด-ด่าง

ในสภาพความเป็นกรดจะทำให้เบตาแคโรทีนเปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์อีพอกไซด์ (epoxide isomer) เกิดจากการจับตัวของออกซิเจนกับพันธะคู่ในวงแหวนของโครงสร้าง เกิดเป็น 5,6-epoxide ซึ่งจะจางลงกว่าเบตาแคโรทีน (beta-carotene) ซึ่งจะเสถียรในสภาพความเป็นด่าง จากการทดลองของ Kearsley and Rodriguez (1981) พบว่า เบตาแคโรทีน (beta-carotene) มีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และมีความคงตัวในอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความคงตัวของเบตาแคโรทีน ด้วยค่าพีเอช (pH) ที่อยู่ระหว่าง 2-7 ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส

2. ออกซิเจน

เบตาแคโรทีน (beta-carotene) เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโครงสร้างของโมเลกุลจะไปจับออกซิเจน โดยคาร์บอนจะสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมออกไป เกิดเป็นสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl) และสารระเหยอื่นเรียกว่าเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง หรือ ไตรเอกซ์ออกซิเดชัน (direct oxidation) แต่อัตราการสูญเสียแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ได้ขึ้นกับออกซิเจนเพียงอย่างเดียว ยังเกี่ยวข้องกับการปัจจัยอื่น ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของแสงและความร้อน ที่จะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาด้วย ดังนั้นการเก็บสารแคโรทีนอยด์ที่มีออกซิเจนจะมีผลทำให้สูญเสียเบตาแคโรทีนเป็นอันดับแรก ซึ่งพบว่า อะโปแคโรทีนอล (apo-carotenal) มีอัตราการสูญเสียเร็วสุด ส่วนแอนแนตโต (annatto) เป็นสารสีธรรมชาติที่มีสีเหลืองส้มถึงส้มแดงที่ได้จากเปลือกหุ้มเมล็ดของต้นคำแสด หรือ บิซ่า โอริลลানা (Bixa

orellana L.) เป็นสารสีที่ละลายได้ในน้ำมันประกอบด้วยบixin (bixin) ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ที่ละลายได้ในน้ำมันชนิดหนึ่ง มีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน คงตัวต่อแสงเล็กน้อยและคงตัวต่อความร้อน แต่ไม่คงตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 125 องศาเซลเซียส ส่วนแอนแนตโท (annatto) ที่ละลายได้ในน้ำที่ค่าความเป็นกรดต่าง หรือ ค่าพีเอช pH เป็นต่าง คือ นอร์บixin (norbixin) ซึ่งได้จากการนำบixin มาซาฟอนิไฟด์ (saponified) หรือต้มในด่างและแยกเอาหมู่เมทิล (methy) ออกไป ใช้เป็นสีอาหาร เช่น เติมลงในเนยเทียมและเนยแข็งที่มีความเข้มข้น ประมาณ 0.5-10 ส่วนต่อล้านส่วน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) บีตาอะโป-8'-แคโรทีนาล (beta-apo-8'-carotenal) เป็นสารสีที่ให้สีส้มเหมือนแคโรทีนอยด์ ไม่ค่อยคงตัวต่อแสง ไม่คงตัวต่อออกซิเดชัน แต่มีความคงตัวต่อค่าพีเอช ไม่ละลายในน้ำ แต่สารนี้อยู่ในรูปสารละลายอิมัลชันหรือละลายอยู่ในน้ำมัน มีสมบัติของวิตามินเอ นิยมใช้เป็นสารสีในเนยแข็งและน้ำสลัด ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้เติมลงในอาหารได้ คือ 33 ส่วนต่อล้านส่วน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

3. แสงสว่าง

แสงมีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นและรสชาติ ความเข้มของแสง และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) มีผลกระทบต่อพืชในระดับพื้นฐาน คือ การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการชีวเคมีและลักษณะโมเลกุลของสารที่สังเคราะห์ขึ้นการเกิดออกซิเดชันจะรุนแรงมากขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในอากาศด้วยกลืนที่เป็นส่วนประกอบแคโรทีนอยด์ คือ C_{13} - C_{11} - C_{10} - และ C_9 ได้จากปฏิกิริยา Fellenberg and Speisky (2006) รายงานว่า สารกันเหี่ยว คือ สารป้องกันการเหี่ยวซึ่งสามารถจัดจำแนกเป็นสองกลุ่ม คือ สารป้องกันการเหี่ยวที่ได้จากธรรมชาติ ที่สำคัญคือ แคโรทีน (beta-carotenes, lycopene, lutein, astaxanthin, zeaxanthin และ canthaxanthin) และ ฟลาโวนอยด์ (catechins, epigallocatechins, quercetin, rutin และ morin) ตัวอย่างผลการทดลองฉายแสงอัลตราไวโอเลตบีแก่ผลมะเขือเทศก่อนเก็บเกี่ยวให้ผลดังนี้ การให้รังสีอัลตราไวโอเลตบีขนาด 0.075 และ 0.15 Wh/ตารางเมตร และปล่อยให้ปรับตัวเป็นเวลา 22 และ 44 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ ไลโคปีนและเบตา-แคโรทีน ในผลมะเขือเทศสุกเพิ่มขึ้นจากการให้รังสีอัลตราไวโอเลตบีขนาด 0.075 Wh/ตารางเมตร หลังจากปล่อยให้ปรับตัวเป็นเวลา 22 ชั่วโมง และเบตาแคโรทีนมีบทบาทสำคัญในการผลิตวิตามินเอ นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังช่วยป้องกันคลอโรฟิลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เริ่มต้นในภาวะที่มีแสงเป็นตัวกระตุ้น หรือ โฟโตออกซิเดชัน (photo-oxidation) ซึ่งจะให้อัตราการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ช้าลงอีกด้วย ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (photo-oxidation) และปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเอนไซม์ หรือ เอนไซม์มาติกออกซิเดชัน (enzymatic oxidation) ของแคโรทีนอยด์ในพืช ดอกไม้และผลไม้ ตัวอย่างส่วนประกอบกลืนที่พบในธรรมชาติ โครงสร้างส่วนที่ทำให้กลืนของแคโรทีนอยด์ที่พบในพืช นอกจากนี้การย่อยสลายเมื่อถูกแสงแดดหรือการสลายตัวเนื่องจาก