

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน

2.1.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน (12)

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในตระกูล Palmae เช่นเดียวกับ ตาล มะพร้าว กระจ่าง และจาก แต่เดิมปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจของทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้ ต่อมาชาวโปรตุเกสได้นำมาปลูกเป็นครั้งแรกในประเทศอินโดนีเซีย ประมาณ พ.ศ. 2391 และประเทศมาเลเซียเริ่มทำการเพาะปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจเมื่อประมาณ พ.ศ. 2460

สำหรับประเทศไทย เริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจประมาณ พ.ศ. 2411 ที่จังหวัดกระบี่ และได้แพร่ขยายมากขึ้นในทางจังหวัดภาคใต้ คือ สตูล ตรัง ภูเก็ต สงขลา ชุมพร สุราษฎร์ธานี และประจวบคีรีขันธ์

ปาล์มน้ำมันที่เพาะปลูกในเชิงเศรษฐกิจปัจจุบัน มีชื่อสามัญว่า African oil palm มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. รูปพรรณสัณฐานคล้ายต้นมะพร้าว มีอายุได้ประมาณ 30 - 120 ปี แต่อายุการให้ผลผลิตมีเพียง 60 ปี โดยเริ่มออกดอกอายุ 2 ปีครึ่ง ถึง 3 ปี ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนอายุได้ปีที่ 8 จากนั้นผลผลิตจะเริ่มคงที่จนอายุ 23 ปี แล้วผลผลิตจึงเริ่มลดลง ผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อผล (pericarp) ซึ่งจะให้น้ำมันปาล์ม และส่วนที่เป็นเมล็ด (endocarp, shell) ซึ่งมีเนื้ออยู่ข้างในเมล็ด ส่วนนี้จะให้น้ำมันเมล็ดปาล์มประมาณ 20 % ของน้ำหนักทั้งหมด หรือ 45 - 50 % ของเมล็ด ส่วน pericarp แยกออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ ชั้น exocarp ซึ่งเป็นชั้นนอกสุด มีลักษณะบาง และมีสีแตกต่างกันตามลักษณะของแต่ละพันธุ์ ชั้นถัดเข้ามาคือ mesocarp มีลักษณะหนากว่า และเป็นชั้นที่ให้น้ำมัน

2.1.2. องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม (6, 13)

น้ำมันปาล์มในชั้นของ mesocarp มีสีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีส้มแก่ น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิสระทั้งชนิดอิ่มตัว (saturated) และชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated) ซึ่งจะขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ และพันธุ์ของปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ ยังมีองค์ประกอบย่อยอื่นอีกประมาณ 1 % ได้แก่

carotenoids, tocopherols, sterols, triterpenes, phospholipids, glycolipids, terpenic, aliphatic hydrocarbons และสารปนเปื้อน

2.1.2.1 กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่พบมากในน้ำมันปาล์มมีดังนี้

1) กรดไขมันอิสระชนิดอิ่มตัว ได้แก่ myristic acid ประมาณ 2 %, palmitic acid ประมาณ 43 % , และ stearic acid ประมาณ 7 %

2) กรดไขมันอิสระชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ oleic acid ประมาณ 39 %, linoleic acid ประมาณ 9 % และ linolenic acid ปริมาณน้อยมาก

2.1.2.2 Carotenoids

สีของน้ำมันปาล์มที่เห็นเป็นสีส้มเกิดจากสารประกอบประเภทแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีอยู่ประมาณ 500 - 700 ppm สารแคโรทีนอยด์ที่พบมาก คือ α -carotene และ β -carotene มีอยู่สูงถึง 91 % ส่วนปริมาณที่เหลือเป็น lycopene และ xanthophyll ดังตารางที่ 2.1 โดยปริมาณสารแคโรทีนอยด์จะเปลี่ยนไปขึ้นกับตึกrixของการบ่มผลปาล์ม พันธุกรรมของปาล์ม และดินที่ใช้ในการปลูก

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสารแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์ม (7)

Carotenoids	Percentage of total carotenoid
β -Carotene	62
α -Carotene	29
γ -Carotene	4
Xanthophyll	3
Lycopene	2

2.1.2.3 Tocopherols

Tocopherols และ tocotrienols ที่พบในน้ำมันปาล์มจะมีปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นกับสายพันธุ์ และประเภทของน้ำมัน tocopherols ที่พบมาก คือ γ -tocotrienol ประมาณ 44 % รองลงมา คือ α -tocopherol ประมาณ 22 % หน้าที่ของ tocopherols ในน้ำมันคือ เป็นสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น นอกจากนี้ ยังเป็นปัจจัยในการวัดคุณภาพน้ำมันอีกด้วย

2.1.2.4 Sterols

ปริมาณ sterols ที่พบในน้ำมันปาล์มมีน้อยกว่า 0.03 % โดยน้ำหนัก sterols ที่พบมากที่สุดคือ β -sitosterol ประมาณ 63 % รองลงมาคือ stigmasterol ประมาณ 21 %

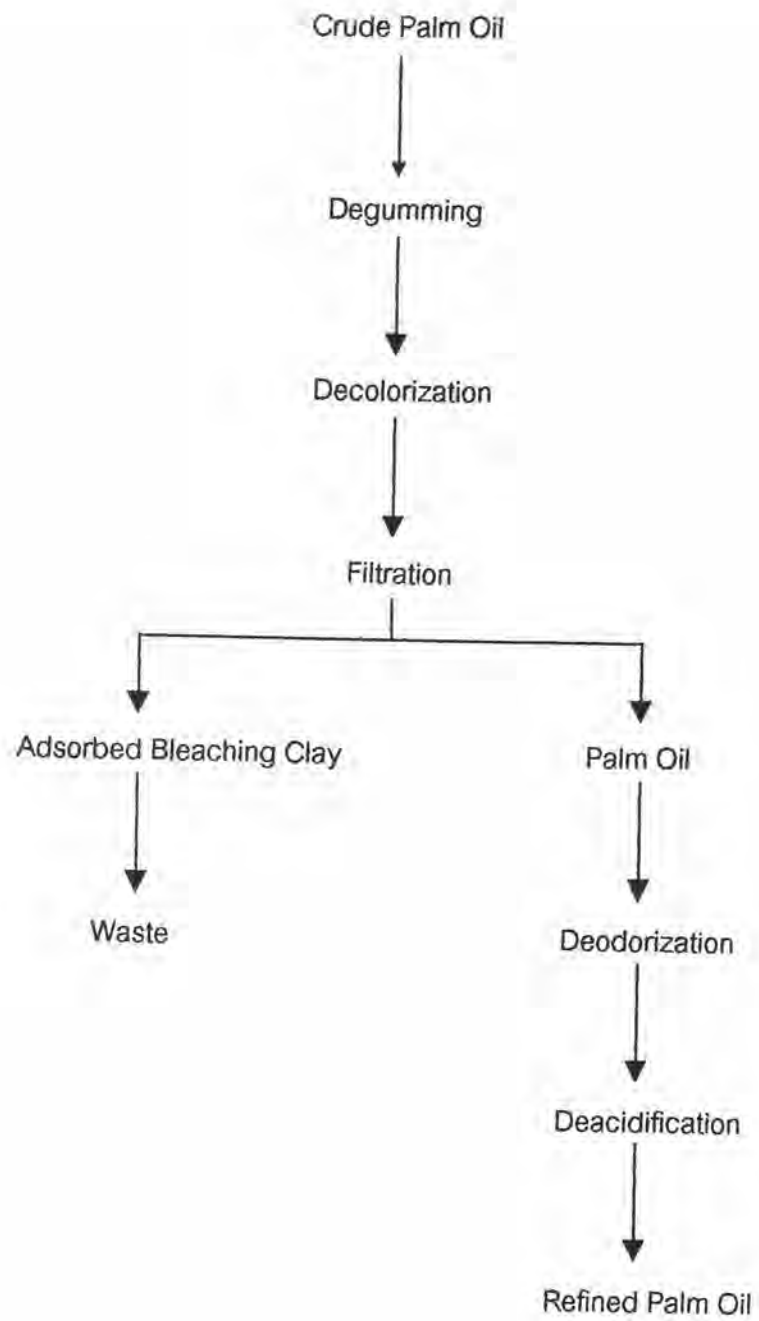
2.1.2.5 สารปนเปื้อน (Impurities)

องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มที่ไม่ใช่น้ำมันหรือไขมัน เรียกว่า สารปนเปื้อน ซึ่งรวมไปถึงความชื้น สารปนเปื้อนมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และองค์ประกอบโลหะต่าง ๆ เช่น เหล็ก ทองแดง ฟอสเฟต เป็นต้น สารเหล่านี้ส่วนใหญ่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำมัน ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง นอกจากนี้ ยังมีสารปนเปื้อนอื่น ๆ เช่น สารประกอบ phenol, tannins และ flavonoids เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์ม

2.2 การผลิตน้ำมันปาล์ม

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในปัจจุบันมีหลายกรรมวิธี การเลือกกระบวนการใดขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบเป็นสำคัญ

สำหรับกระบวนการฟอกน้ำมันปาล์มอย่างย่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ในขั้นตอนแรกจะเป็นกระบวนการทางเคมี โดยน้ำมันปาล์มจะผ่านกระบวนการ degumming โดยทำปฏิกิริยากับ 0.1 % กรดฟอสฟอริก เพื่อกำจัดยางเหนียวและอิมัลชันของโลหะหนักที่อยู่ในน้ำมันปาล์มดิบออก จากนั้นจะทำการฟอกสี (decolorization) เพื่อกำจัดสารแคโรทีนอยด์ออก โดยใช้ตัวดูดซับที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพวก acid-activated bleaching clay ในสัดส่วนประมาณ 1 - 2 % ของปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการฟอกสีแล้วจะถูกนำไปกรอง และนำมาผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่น (deodorization) ซึ่งมักกระทำพร้อม ๆ กับการกำจัดกรด (deacidification) โดยการพ่นไอน้ำเข้าไปภายใต้สูญญากาศ เพื่อแยกเอากรดไขมันอิสระ แอลดีไฮด์ และคีโตนซึ่งเป็นตัวทำให้น้ำมันหืน รวมทั้งกำจัดสารออกซิเดชันและเม็ดสีที่หลงเหลืออยู่ออกไป น้ำมันที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วจะเป็นน้ำมันบริสุทธิ์พร้อมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขั้นต่อไป (10)



รูปที่ 2.1 กระบวนการฟอกน้ำมันปาล์มอย่างย่อ (10)

จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบเพื่อบริโภคข้างต้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการพื้นฐานที่ต้องกระทำคือ การฟอกสี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีคุณสมบัติใสและปลอดภัย เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งตามปกติแล้วการฟอกสีจะให้ bleaching clay สิ่งที่ถูกดูดซับติดออกมาที่ bleaching clay ส่วนใหญ่เป็นสารพวกแคโรทีนอยด์ และ bleaching clay ที่ใช้แล้วส่วนใหญ่จะถูกทิ้งเป็นขยะของโรงงาน โดยอาจถูกนำไปถมที่ดินหรือนำไปทำอิฐ ซึ่งถือว่ามีมูลค่าน้อยมาก ดังนั้น หากเราสามารถนำเอาสารแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบีตา-แคโรทีนที่มีเป็นปริมาณมากในน้ำมันปาล์มดิบ และมีราคาสูงกลับมาได้ จะเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์บีตา-แคโรทีน และเป็นการเพิ่มผลกำไรแก่การผลิตน้ำมันปาล์ม ตลอดจนเป็นการประหยัดเงินตราการนำเข้าปริมาณบีตา-แคโรทีนจากต่างประเทศ ซึ่งแต่ละปีมีมูลค่าการนำเข้าหลายล้านบาท ดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการนำเข้าและการส่งออกวิตามินเอและอนุพันธ์ของวิตามินเอจากต่างประเทศในช่วง พ.ศ. 2532-2541

ปี พ.ศ.	การนำเข้า		การส่งออก	
	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2532	41,617	32,303,644	-	-
2533	41,939	30,699,916	-	-
2534	43,650	35,031,625	-	-
2535	51,169	44,641,261	-	-
2536	41,356	37,172,924	145	26,984
2537	97,347	76,425,494	23,200	1,898,152
2538	54,286	53,326,723	92,118	6,913,096
2539	51,974	58,381,700	-	-
2540	56,549	71,031,068	2,797	112,269
2541	62,426	77,258,524	1,060	348,738

ที่มา : กรมศุลกากร

หมายเหตุ : กรมศุลกากรไม่ระบุแยกเป็นบีตา-แคโรทีนชนิดเดียว แต่ระบุรวมอยู่ในรูปของวิตามินเอและอนุพันธ์ของวิตามินเอ

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารแคโรทีนอยด์

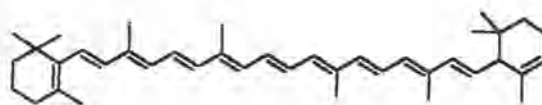
2.3.1. โครงสร้างและคุณลักษณะเฉพาะของสารแคโรทีนอยด์ (14)

สารแคโรทีนอยด์ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของ tetraterpenes โดยประกอบด้วย isoprene unit จำนวน 8 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่ จากโครงสร้างของสารแคโรทีนอยด์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

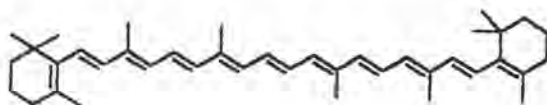
2.3.1.1 Carotene มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอน และไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น เช่น α - carotene, β - carotene และ γ - carotene (ดังรูปที่ 2.2 ก-ง) แคโรทีนจัดเป็นสารไฮโดรคาร์บอนประเภท polyene คือมี conjugated double bond ต่อกันเป็นสายยาว ยิ่งโมเลกุลมีสายยาวมากเท่าใด ความเข้มข้นของสีจะยิ่งมากขึ้น ในธรรมชาติสารแคโรทีนอยด์อาจเกิดขึ้นอย่างอิสระ หรืออยู่รวมกับน้ำตาล โปรตีน หรือไขมันก็ได้

2.3.1.2 Xanthophyll เป็นอนุพันธ์ออกซิเจนของ carotene (oxycarotenoid) เช่น Zeaxanthin (ดังรูปที่ 2.2 จ)

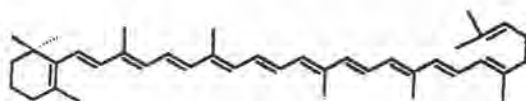
สารแคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนแสงในช่วง ultraviolet และ visible region ได้ โดยสารแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดอาจดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นต่างกันและอาจมีได้หลายค่า เช่น α - carotene ดูดกลืนแสงในช่วง 423, 444, 473 นาโนเมตร เป็นต้น การตอบสนองต่อการดูดกลืนแสงของสารแคโรทีนอยด์ขึ้นอยู่กับ conjugated double bond เป็นหลัก กล่าวคือ สารแคโรทีนอยด์ชนิดที่มี conjugated double bond มากกว่า จะมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงกว่าสารแคโรทีนอยด์ที่มี conjugated double bond น้อยกว่า นอกจากนี้ การดูดกลืนแสงยังขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย, β - ring, conjugated carbonyl group, isomer, conjugated oxo group เป็นต้น (ดังรูปที่ 2.3)



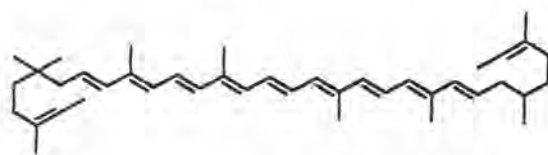
ก. α - Carotene



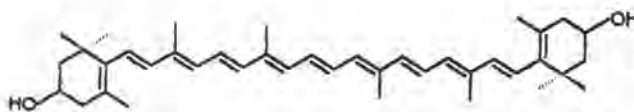
ข. β - Carotene



ค. γ - Carotene

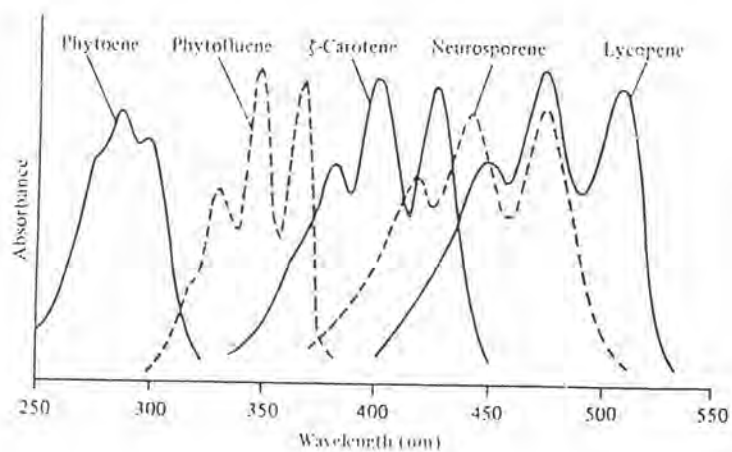


ง. Lycopene

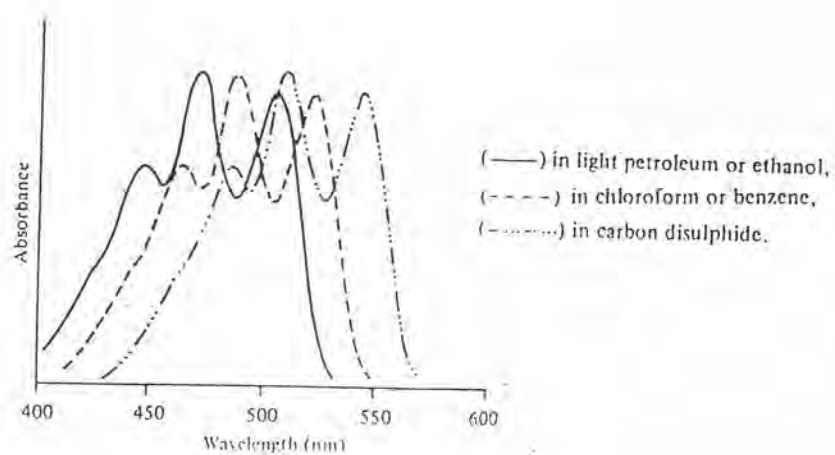


จ. Zeaxanthin ซึ่งเป็น Xanthophyll ชนิดหนึ่ง

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสารแคโรทีนอยด์บางชนิด (14)



ก. ผลของการเพิ่ม conjugated double bond



ข. ผลของตัวทำละลาย

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองของการดูดกลืนแสงของสารแคโรทีนอยด์ (14)

เนื่องจากภายในโมเลกุลของสารแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยพันธะคู่ จึงทำให้สารแคโรทีนอยด์ทุกชนิดเกิดปรากฏการณ์ cis - trans isomerism ได้ ซึ่งจะเกิดจำนวนมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ภายในโมเลกุล โดยในธรรมชาติส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูป trans - isomer แต่ก็สามารถพบ cis - หรือ poly cis - ได้บ้าง

บีตา-แคโรทีน มีสูตรอย่างง่ายคือ $C_{40}H_{56}$ มีน้ำหนักโมเลกุล 536.85 ประกอบด้วย C 89.49 % และ H 10.51 % จุดหลอมเหลว 176 – 183 °C ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับที่สารเริ่มสลายตัว (15) มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 497 และ 466 นาโนเมตร ใน chloroform สามารถละลายได้ดีใน CS_2 , benzene และ chloroform ละลายได้ใน ether, petroleum ether และ oils ละลายได้น้อยใน methanol และ ethanol ไม่ละลายในน้ำ, กรด และด่าง (16) ความสามารถในการละลายของบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของบีตา-แคโรทีนในตัวทำละลายอินทรีย์ (17)

ชนิดของตัวทำละลาย	ความสามารถในการละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)
อะซิโตนไตรล์	10
เมทานอล	10
เอทานอล	30
เอทิลอีเทอร์	1,000
ไซโคลเฮกเซน	2,000
ไซโคลเฮกซานอล	2,000
คลอโรฟอร์ม	2,000
โทลูอีน	4,000
เบนซีน	4,000
ไดคลอโรมีเทน	6,000
เตตราไฮโดรฟูราน	10,000

2.3.2. แหล่งที่พบบีตา-แคโรทีน (14)

บีตา-แคโรทีนเป็นรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ มีสีแดงถึงสีเหลือง ในสิ่งมีชีวิตสามารถพบได้ทั่วไปทั้งในพืช ยีสต์ รา โดยในพืชส่วนใหญ่ถูกบดบังโดยคลอโรฟิลล์ อย่างไรก็ตามพืชที่มีสีเหลืองถึงสีแดงจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าพืชชนิดอื่น (ดังตารางที่ 2.4)

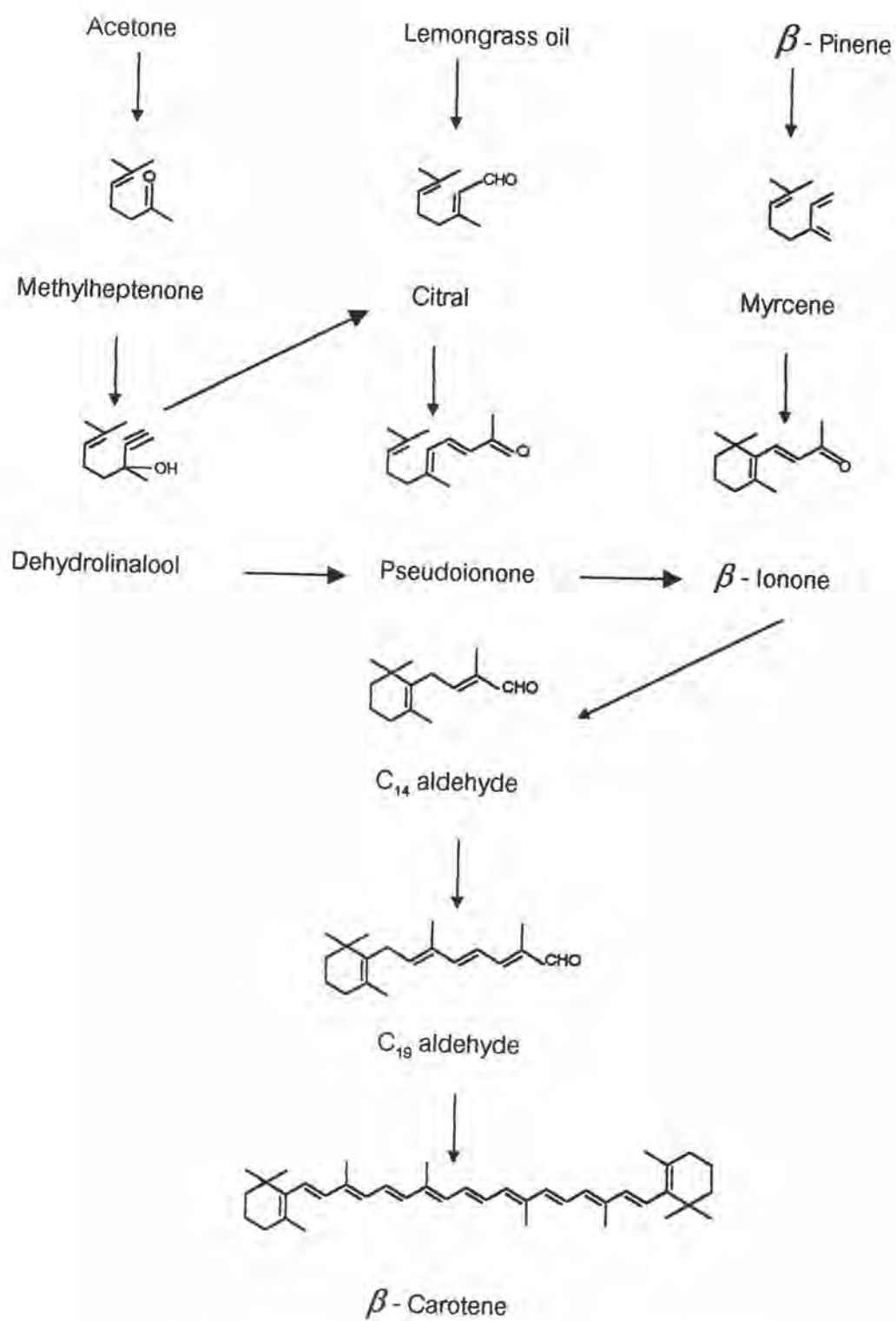
ตารางที่ 2.4 ปริมาณบีตา-แคโรทีนในพืชชนิดต่าง ๆ (18 - 21)

ชนิดของพืช	ปริมาณบีตา-แคโรทีน (ไมโครกรัม/100 กรัม)
Sweet Potatoes	8,288
Carrot	7,293
Spinach	3,842
Apricot	3,370
Beet Green	2,181
Mango	1,312
Papaya	910
Tomato	170
Pink Grapefruit	144
Orange	80-190

สำหรับในสัตว์ พบว่า สัตว์หลายชนิดสามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้ จึงทำให้สัตว์หลายชนิดมีสี เช่น สีของขนนกฟลามิงโก้ ปลาคาร์พ ปลาแซลมอน กุ้ง เป็นต้น

สารแคโรทีนอยด์ที่พบในธรรมชาติอาจเกิดขึ้นอย่างอิสระ หรืออยู่รวมกับโปรตีน น้ำตาล หรือไขมันก็ได้ โดยมีหลายรูปแบบ เช่น เป็นหยดน้ำมันเล็ก ๆ (fat droplet) อยู่ในเซลล์ของเนื้อเยื่อ เช่น ในแครอท เกิดเอสเทอร์กับกรดไขมัน เช่น ในผลไม้สุก กระจายตัวเป็น colloidal ในส่วนที่เป็นไขมัน หรืออาจจับอยู่กับโปรตีนใน aqueous phase เป็นต้น

นอกจากนี้ สารแคโรทีนอยด์บางชนิดสามารถสังเคราะห์ได้ เช่น β -carotene (ดังรูปที่ 2.4) และ canthaxanthin เป็นต้น สารแคโรทีนอยด์ที่สังเคราะห์ขึ้นนิยมใช้เป็นสีผสมอาหาร เพราะมีความบริสุทธิ์สูง มีสีที่แน่นอน มีค่า biological value เท่ากับแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากธรรมชาติ และยังมีคุณค่าทางอาหารเท่ากัน ๆ อีกด้วย (1)



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์บีตา-แคโรทีนในอุตสาหกรรม (1)

2.3.3. คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของสารแคโรทีนอยด์

2.3.3.1 Photofunction

ในพืช สารแคโรทีนอยด์มีบทบาทเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากแสงที่มากตกกระทบให้มากที่สุด โดยมีหน้าที่ดูดซับแสงช่วงความยาวคลื่นที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดซับได้ (14)

2.3.3.2 Antioxidant

สารแคโรทีนอยด์สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ จึงสามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากการเกิดปฏิกิริยาของออกซิเจนได้ ซึ่งจากคุณสมบัตินี้เองทำให้บีตา-แคโรทีนมีบทบาทอย่างมากในการยับยั้ง และลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด (22)

2.3.3.3 Provitamin A

การสร้างวิตามินเอจำเป็นต้องมี β - ionone ring อย่างน้อย 1 วง ดังนั้น β -carotene ซึ่งประกอบด้วย β - ionone ring 2 วง ที่แต่ละปลายของโมเลกุล จึงมีศักยภาพในการให้วิตามินเอได้ 2 โมเลกุล สำหรับสารแคโรทีนชนิดอื่น ๆ มี vitamin A activity แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 Vitamin A Activity ในสารแคโรทีนชนิดบางชนิด (23)

Carotenoids	Relative Vitamin A Activity (%)
all - trans - β - Carotene	100
9 - cis - β - Carotene	38
13 - cis - β - Carotene	53
all - trans - α - Carotene	50 - 54
9 - cis - α - Carotene	13
13 - cis - α - Carotene	16
β - Carotene 5,6 - eposide	21
α - Carotene 5,6 - eposide	25
γ - Carotene	42 - 50
β - Zeacarotene	20 - 40

หมายเหตุ : กำหนดแอกติวิตีของ all - tran - β - carotene เป็น 100 %

2.3.4. ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของสารแคโรทีนอยด์

2.3.4.1 ความร้อน

ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลทำให้สารแคโรทีนอยด์สลายตัว เนื่องจากสารแคโรทีนอยด์ไม่ค่อยเสถียรที่อุณหภูมิสูง ความร้อนมีผลทำให้สารแคโรทีนอยด์เกิด thermal isomerization กล่าวคือ ทำให้สารแคโรทีนอยด์ในธรรมชาติซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูป all - trans - form เกิดการบิดตัว 180 องศา เป็น cis - form ซึ่งไม่เสถียรกว่า trans - form มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า และมี molecule extinction coefficient ที่ต่ำกว่า จึงทำให้มีสีอ่อนกว่า trans - form และภายหลังจากสารแคโรทีนอยด์เปลี่ยนสีไปก็จะหมดความเป็น provitamin A ด้วย นอกจากนี้ อุณหภูมิสูงยังมีผลทำให้บีตา-แคโรทีนแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์จำพวก aromatic hydrocarbon ที่พบมากคือ ionone ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเขียว

จากการศึกษาผลของความร้อนต่อการสลายตัวของบีตา-แคโรทีน Onyewu, Ho and Daun (24) พบว่า บีตา-แคโรทีนสามารถสลายตัวจนเกือบสมบูรณ์เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การสลายตัวของบีตา-แคโรทีนที่อุณหภูมิ 210 °C (24)

เวลา	เปอร์เซ็นต์การสลายตัว
4 ชั่วโมง	97.8
1 ชั่วโมง	97.2
15 นาที	91.9
5 นาที	91.1

นอกจากนี้ Modambi and Rajagopal (25) ได้ศึกษาการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนในน้ำมันปาล์ม โดยให้ความร้อนตั้งแต่ 138 - 258 องศาเซลเซียส อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที พบว่า บีตา-แคโรทีนสลายตัวเกือบสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 258 องศาเซลเซียส

2.3.4.2 ความเป็นกรด

ในภาวะที่เป็นกรด บิตา-แคโรทีนจะเกิด epoxide isomerism กล่าวคือ เกิดการจับตัวของออกซิเจนตรงพันธะคู่ของส่วนที่เป็นวงในโครงสร้าง เกิดเป็น 5, 6 - epoxide และทำให้ 5, 6 - epoxide เปลี่ยนไปเป็น 5, 8 - furanoid ซึ่งทำให้เกิดสีจางลง และเกิดการสูญเสียบิตา-แคโรทีน ส่วนในภาวะต่างบิตา-แคโรทีนจะไม่เกิด isomerization

2.3.4.3 การเสื่อมสลายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดได้จากสาเหตุ ดังนี้

1) ออกซิเจน เมื่อสารแคโรทีนออกไซด์สัมผัสอากาศ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยพันธะเดี่ยวที่อยู่ระหว่างพันธะคู่จะจับตัวกับออกซิเจน ทำให้เกิดเป็นของผสมสีน้ำตาลของ hydroperoxide สารประกอบคาร์บอนิล และสารระเหย นอกจากนี้ อุณหภูมิและความเข้มแสงจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยบิตา-แคโรทีนจะไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สุดทำให้เกิดการสูญเสียเร็วกว่าสารแคโรทีนชนิดอื่น ๆ

2) แสงสว่าง จะทำให้บิตา-แคโรทีนเกิด cis - trans isomerism คล้ายที่เกิดจากความร้อน โดยมี iodine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาของ Scita (26) ได้ศึกษาถึงความเสถียรของบิตา-แคโรทีนในภาวะแสงต่างกัน พบว่า แสงอัลตราไวโอเล็ตมีผลต่อการสลายตัวของบิตา-แคโรทีนมากกว่าแสงฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 3 เท่า โดยที่ปริมาณบิตา-แคโรทีนสลายตัวไปประมาณ 50 % เมื่อฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในขณะที่การฉายแสงฟลูออเรสเซนต์ต้องใช้เวลาจนถึง 24 ชั่วโมง และพบว่า การเติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันคือ บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน และแอลฟา-โทโคเฟอรอล สามารถลดการสลายตัวของบิตา-แคโรทีนเนื่องจากแสงได้

3) กรดไขมันไม่อิ่มตัว อาจเป็นตัวการทำให้เกิดการสูญเสียสารแคโรทีนออกไซด์ได้ โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอาจทำในสารแคโรทีนออกไซด์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันร่วมตามไปด้วย (co - oxidation)

4) การปนเปื้อนของไอออนโลหะบางชนิด เช่น ทองแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5) เอนไซม์ สารแคโรทีนออกไซด์จะถูกทำลายได้โดยเอนไซม์ที่ทำให้ไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น peroxidase มีผลให้สารแคโรทีนออกไซด์เกิดปฏิกิริยา co - oxidation

6) น้ำ มีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และประสิทธิภาพของเอนไซม์ อย่างไรก็ตาม การเจ้าน้ำออกจะทำให้สารแคโรทีนออกไซด์สัมผัสกับอากาศมากขึ้น ซึ่งจะให้เกิดการสูญเสียสารแคโรทีนออกไซด์มากขึ้นด้วย

2.4 การใช้ประโยชน์บีตา-แคโรทีน

สารแคโรทีนอยด์ที่พบทั่วไปในธรรมชาติมีมากกว่า 600 ชนิด ในจำนวนนี้มีเพียง 50 ชนิด เท่านั้นที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (27) โดยเฉพาะบีตา-แคโรทีนสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นวิตามินเอมากที่สุด (28) เมื่อสัตว์กินพืชที่มีบีตา-แคโรทีนเข้าไป บีตา-แคโรทีนจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอโดย β - carotene dioxygenase ที่เยื่อบุลำไส้เล็ก และบางส่วนอาจถูกย่อยที่ตับบ้าง (29) สำหรับความต้องการวิตามินเอ ในแต่ละวันร่างกายต้องการวิตามินเอแตกต่างกันไปตามเพศ อายุ และภาวะของร่างกาย แต่การได้รับวิตามินเอสูงเกินความต้องการของร่างกายจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายได้ เนื่องจากวิตามินเอละลายน้ำได้น้อย และจะไม่ถูกขับออกจากร่างกาย ดังนั้น ภาวะความเป็นพิษของวิตามินเอในผู้ใหญ่อาจทำให้เกิดความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน เช่น ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ผื่นบนผิวหนัง ผื่นตามข้อ ในทารกอาจมีพิษทำให้เกิดเป็นแผลเรื้อรัง ผื่นบนผิวหนัง น้ำหนักตัวลดลง ตับโต เป็นต้น แต่การรับประทานบีตา-แคโรทีนจะไม่ทำให้เกิดอาการเป็นพิษเหล่านี้ เนื่องจากบีตา-แคโรทีนจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอในปริมาณที่ร่างกายต้องการเท่านั้น ส่วนบีตา-แคโรทีนที่เหลือจะถูกสะสมไว้ที่ชั้นเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งหากสะสมไว้ในปริมาณมากอาจทำให้เกิดภาวะตัวเหลืองได้ แต่ภาวะดังกล่าวนี้จะหายไปเมื่อหยุดรับประทานบีตา-แคโรทีน (4, 5)

จากการศึกษาระดับของวิตามินเอและระดับบีตา-แคโรทีนในเลือด พบว่า บีตา-แคโรทีนมีผลป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง (30) โดยบีตา-แคโรทีนสามารถป้องกันโรคมะเร็งที่ผิวหนัง มะเร็งที่ปาก มะเร็งปอด (31) มะเร็งกระเพาะอาหาร (32) ยับยั้งการเกิดเนื้องอก และการขยายตัวของเซลล์มะเร็งอีกด้วย (33, 34)

ทางด้านเภสัชกรรมและเครื่องสำอาง พบว่า มีการใช้บีตา-แคโรทีนเป็นส่วนผสมในยาและเครื่องสำอางหลายชนิด เช่น ครีมแก้ผิว มีบีตา-แคโรทีนเป็นส่วนผสม 0.1 - 1.0 มิลลิกรัม/ตัวยา 1 กรัม เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่เป็นตัวก่อให้เกิดสิวและแผลมีหนองจากการติดเชื้อ (35, 36) หรือเป็นส่วนผสมในยาสำหรับโรคแพ้แดด (37)

ทางด้านอาหารและเครื่องดื่ม มีการผสมบีตา-แคโรทีนในอาหาร เช่น เนยเทียม ไล้กรอก ไอศกรีม มาการีน เป็นต้น เพื่อให้อาหารมีสีสวยน่ารับประทาน (38, 39) นอกจากนี้ ยังใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มพวกเกลือแร่และวิตามินบำรุงร่างกายอีกด้วย (40)

ทางด้านอาหารสัตว์ พบว่า มีการผสมบีตา-แคโรทีนในอาหารสัตว์ เช่น ผสมเพื่อเร่งสีในอาหารปลา (2) ผสมในอาหารสัตว์ปีก เช่น เป็ด ไก่ เพื่อให้สีของไข่แดงมีสีแดงน่ารับประทาน หรือมีการผสมในอาหารเลี้ยงกุ้ง ปู เพื่อให้มีสีแดงสวยเมื่อทำให้สุก (3, 41)

2.5 กระบวนการสกัดแยกบีตา-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม

การสกัดบีตา-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบในปัจจุบันมีหลายวิธี ซึ่งได้มีการพัฒนาการสกัดเพื่อจะสามารถนำบีตา-แคโรทีนมาใช้ประโยชน์ได้อย่างจริงจัง เช่น

2.5.1 การสกัดโดยวิธีการดูดซับ (Adsorption method)

การดูดซับเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อบริโภค จึงได้มีความพยายามศึกษาเกี่ยวกับตัวดูดซับต่าง ๆ และปัจจัยของการดูดซับสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์ม ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ชนิดตัวดูดซับและปัจจัยของการดูดซับสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์ม

ชนิดตัวดูดซับ	อุณหภูมิดูดซับ (°c)	ตัวชะ	เอกสารอ้างอิง
Alumina	50	20 % Acetic acid in Heptane	42, 43
Silica	50	Benzene, Ethanol, Chloroform	42, 43
Activated clay	50	Benzene, Ethanol, Chloroform	42, 43
Activated clay : Alumina	50	Benzene, Ethanol, Chloroform	42, 43
Polyacrylate resin	55	Hexane	44
Acrylate resin	60	Hexane	44
Silicic acid gel	-	Hexane	45
Activated carbon	29	Xylene, Dichloromethane, Toluene	46, 47
Bentonite	50	-	48
Acid-treated rice hull ash	30	-	49
Bentonite : Alumina	80	20 % Acetic acid in 95 % Ethanol	50

การดูดซับ เป็นกระบวนการที่เกิดจากการสะสมของสารที่บริเวณผิวหน้าระหว่างสองวัสดุ ซึ่งอาจเป็นวัสดุของเหลว - ของเหลว ของเหลว - ของแข็ง ก๊าซ-ของเหลว หรือ ก๊าซ - ของแข็ง โดยกระบวนการดูดซับสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่เลกุลของสารไปเกาะที่ผิวหน้าของแข็ง

ปรากฏการณ์การดูดซับบนพื้นผิว (adsorption phenomena) มี 2 ประเภทใหญ่ คือ ปรากฏการณ์ดูดซับแบบกายภาพ (physical adsorption) และปรากฏการณ์ดูดซับแบบเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption)

การดูดซับแบบกายภาพ เป็นการดูดซับที่สารที่ถูกดูดซับไปเกาะติดที่ผิวหน้าของสารดูดซับ โดยอาศัยแรงที่ทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้าของสารดูดซับเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นแรงยึดอย่างอ่อน สำหรับการดูดซับแบบเคมี เป็นการดูดซับที่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้าของสารดูดซับ จึงอาจทำให้สารที่ถูกดูดซับเสื่อมสภาพหรือมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมา Ong and Boey (46) ได้ทำการศึกษาพบว่า การดูดซับสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยผงคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการบำบัดด้วยสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันสามารถใช้ในการดูดซับได้ดี เนื่องจากไม่ทำให้สารแคโรทีนอยด์ภายหลังการดูดซับเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง นอกจากนี้ ดวงใจ ตั้งวงศ์เจริญกิจ (11) พบว่า การใช้โพลีอีนที่มี 2 % tween 80 ผสมอยู่ มีประสิทธิภาพในการชะสารแคโรทีนอยด์ออกจากผงคาร์บอนกัมมันต์ได้ดีที่สุด

2.5.2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Solvent extraction)

หลักการที่สำคัญของการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ คือ การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายแต่ละชนิดไม่เท่ากัน จึงทำให้สามารถสกัดสารที่ต้องการออกมาได้ จากนั้นกำจัดตัวทำละลายออกโดยวิธีต่าง ๆ เช่น การกลั่น เป็นต้น

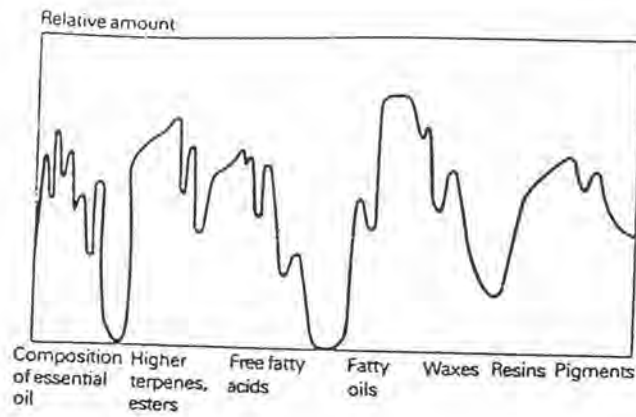
เนื่องจากบีตา-แคโรทีนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นตัวทำละลายที่นิยมเลือกใช้ในการสกัดส่วนใหญ่จึงเป็นพวก hexane, petroleum ether, acetone, ethyl acetate เป็นต้น หรือใช้ตัวทำละลายผสม ซึ่งตัวทำละลายเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารที่ระเหยได้ง่าย จึงสามารถนำไปกำจัดออกได้โดยการกลั่น อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยตัวทำละลายต้องใช้ตัวทำละลายปริมาณมาก และต้องระเหยเอาตัวทำละลายออกให้หมด วิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมในการสกัดบีตา-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณมาก ๆ ในระดับอุตสาหกรรม (51)

2.5.3 การสกัดด้วยของไหลเหนือจุดวิกฤติ (Supercritical fluid extraction)

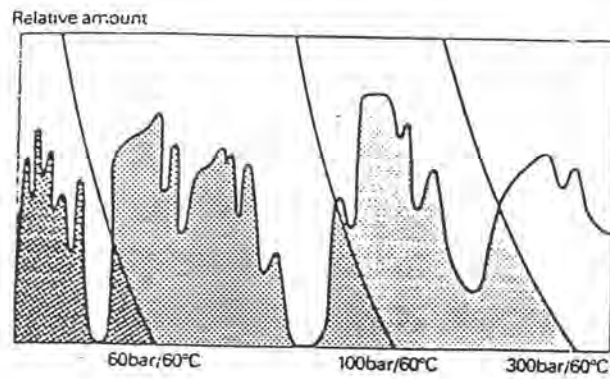
การสกัดด้วยของไหลเหนือจุดวิกฤติ เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาใช้ในการสกัดสารจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ หรือในทางเภสัชกรรม เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่สูญเสียคุณภาพได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ของไหลเหนือจุดวิกฤติมีคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ และการแพร่กระจายได้ดีกว่าของเหลว การสกัดจึงทำได้อย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นคล้ายของเหลว ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าการละลาย แต่ความหนืดน้อยคล้ายกับก๊าซ และไม่มีแรงตึงผิวจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในโครงสร้างที่มีรูพรุนได้ง่าย ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ภายหลังจากสกัดจะระเหยออกจากตัวถูกละลายได้ง่าย รวดเร็วและไม่เหลือตกค้าง คงไว้ซึ่งกลิ่นธรรมชาติเดิม และไม่เกิดการสูญเสียสารที่ระเหยง่าย การสกัดด้วยของไหลเหนือจุดวิกฤติจึงเหมาะสมในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพและอุตสาหกรรมอาหาร (52)

ของไหลเหนือจุดวิกฤติมีหลายชนิด เช่น สารประกอบฟลูออรีนไดออกไซด์คาร์บอน อีเทน เอทิลีน เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากเป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ ไม่กัดกร่อน และราคาไม่แพง ภาวะวิกฤติของคาร์บอนไดออกไซด์ คืออุณหภูมิประมาณ 31 ถึง 55 องศาเซลเซียส และความดันประมาณ 5 ถึง 74 บาร์ คาร์บอนไดออกไซด์จะมีสถานะเป็นของไหลซึ่งมีคุณสมบัติในการขุ่นใส และการละลายที่ดี

โดยทั่วไปสารประกอบไม่มีขั้วในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีหลายกลุ่ม โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมากตามการระเหย น้ำหนักโมเลกุล ความมีขั้ว ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย เทอร์ปีน โมเลกุลใหญ่และเอสเทอร์ กรดไขมันอิสระ ไขมันและน้ำมัน แวกซ์ เรซิน และรงควัตถุ (รูปที่ 2.5ก) Brogle (53) ศึกษาการสกัดผลิตภัณฑ์ธรรมชาติดังกล่าวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤติ โดยการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันต่าง ๆ (รูปที่ 2.5ข) พบว่า ที่ความดัน 60 บาร์ สามารถสกัดสารพวกน้ำมันหอมระเหยและเทอร์ปีนโมเลกุลใหญ่ได้บางส่วน ที่ความดัน 100 บาร์ สามารถสกัดสารพวกน้ำมันหอมระเหยและเทอร์ปีนโมเลกุลใหญ่ได้ทั้งหมด รวมทั้งสามารถสกัดกรดไขมันได้บางส่วน และที่ความดัน 300 บาร์ สามารถสกัดองค์ประกอบเกือบทั้งหมดของสารที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติได้ ยกเว้นรงควัตถุ ซึ่งสามารถสกัดออกมาได้เพียงบางส่วนเท่านั้น



ก. แบบจำลองสารประกอบไม่มีขั้ว
ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ



ข. สารประกอบไม่มีขั้วที่ได้จากการสกัดด้วย
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤติ

รูปที่ 2.5 สารประกอบไม่มีขั้วในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ได้จาก
การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤติ (53)

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤติในระดับอุตสาหกรรม เช่น การสกัดคาเฟอีนจากชาและกาแฟ (52) การสกัดกลิ่นจากอบ (54) เป็นต้น

สำหรับการใช้เทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤติในการสกัดสารแคโรทีนอยด์ Barth et al. (55) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากแครอทด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤติ ที่ความดัน 207 บาร์ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่า การเติม 10 % เอทานอลช่วยในการสกัด สามารถสกัดสารแคโรทีนอยด์ได้สูงสุดร้อยละ 98.92

2.5.4 คอลัมน์โครมาโตกราฟี (Column chromatography)

เทคนิคคอลัมน์โครมาโตกราฟี เช่น gel permeation chromatography เป็นการสกัดแยกและทำให้บริสุทธิ์ของบีตา-แคโรทีนโดยอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล ตัวอย่างคอลัมน์ที่ใช้ เช่น polystyrene, dextran, agaroses, cellulose, silica gel หรือ modified silica gel เป็นต้น สำหรับตัวทำละลายที่ใช้ในการชะเป็นตัวทำละลายที่ระเหยง่าย เช่น hexane, cyclohexane, acetone, iso - propyl alcohol หรือสารละลายผสม เป็นต้น วิธีการดังกล่าวนี้จะได้บีตา-แคโรทีนที่มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง แต่มีข้อเสียคือ ใช้ระยะเวลาในการกำจัดตัวทำละลายออกเช่นเดียวกับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (38, 56)

2.5.5 การกลั่นภายใต้สุญญากาศ

โดยการเปลี่ยนรูปน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเป็นพวกไตรกลีเซอไรด์ให้อยู่ในรูปเอสเทอร์ของกรดไขมัน และกลีเซอรอล ทำให้สามารถแยกกลีเซอรอลออกไปได้ง่ายโดยล้างด้วยน้ำ ส่วนบีตา-แคโรทีนซึ่งปนอยู่กับเอสเทอร์ของกรดไขมัน สามารถแยกออกจากกันได้ด้วยการกลั่นภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง falling film evaporator, wipe film evaporator หรือ molecular evaporator เป็นต้น (57, 58)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดบีตา-แคโรทีนจากน้ำมันปาล์ม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดแคโรทีนอยด์ และบีตา-แคโรทีน เป็นงานวิจัยที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มโดยตรง และมีการจดสิทธิบัตร เช่น

ในปี ค.ศ. 1991 Ooi et al. (59) ศึกษาการแยกสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มโดยทำปฏิกิริยา transesterification เพื่อทำให้ไตรกลีเซอไรด์อยู่ในรูปอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จากนั้นแยกอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันออกจากสารแคโรทีนอยด์โดยการนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นเชิงโมเลกุล ที่อุณหภูมิ 110 – 200 องศาเซลเซียส ความดัน 0.002-0.60 ทอรร ผลการกลั่น พบว่าได้สารแคโรทีนอยด์เข้มข้นสูงถึง 6,600 - 80,000 ppm

ในปี ค.ศ. 1993 Kunst et al. (38) ศึกษาการทำให้สารแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มเข้มข้นขึ้น โดยใช้เทคนิค gel permeation chromatography วัสดุที่ใช้บรรจุในคอลัมน์เป็น polystyrene หรือ dextran polymer อุณหภูมิของคอลัมน์ 30 – 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม น้ำมันปาล์มที่ผสมกับสารละลาย เช่น ethyl acetate, methyl ethyl ketone ในอัตราส่วน 5 : 1 เติมผ่านส่วนบนของคอลัมน์ แล้วทำการชะด้วยสารละลายชนิดเดิม ผลการทดลองพบว่า ได้สารแคโรทีนอยด์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 0.5 – 25 % โดยน้ำหนัก

ในปี ค.ศ. 1999 Nitsche (58) ศึกษาเกี่ยวกับการแยกสารแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำปฏิกิริยา transesterification เพื่อทำให้ไตรกลีเซอไรด์อยู่ในรูปอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จากนั้นแยกอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันออกจากสารแคโรทีนอยด์โดยการกลั่นที่อุณหภูมิ 100 – 200 องศาเซลเซียส ความดัน 1 – 50 mbar และสารแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการกลั่นจะถูกนำไปกำจัดไตรกลีเซอไรด์ตกค้างอีกครั้งด้วยปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชัน พบว่า ได้สารแคโรทีนอยด์ที่มีความเข้มข้นอย่างน้อย 80 % และได้ fatty acid alkyl ester ที่สามารถนำไปผลิต fatty alcohol ได้

ในปี ค.ศ. 1999 Unnithan (60) ศึกษาการกลั่นแยกกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบโดยการกลั่นด้วยเครื่อง Short-path distiller ที่อุณหภูมิ 160 – 200 องศาเซลเซียส ความดัน 0.003 – 0.08 mbar ผลจากการกลั่น พบว่า ได้ refined oil ที่มีวิตามินอีและสารแคโรทีนอยด์เข้มข้นอย่างน้อย 90 %