

บทที่ 2

ทฤษฎีและการสืบค้นข้อมูล

2.1 น้ำมันปาล์มดิบ

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สามารถนำมาใช้เพื่อการบริโภคและเพื่อเป็นพลังงานทดแทนได้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันอุตสาหกรรมที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันอื่นๆ โดยทั่วไปกระบวนการอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ส่วนการปลูกต้นปาล์ม น้ำมันได้ผลผลิตหลักคือผลปาล์มสดและส่วนที่เหลือจากการผลิตหลักและของเสีย ได้แก่ ทางใบปาล์มและลำต้นปาล์มส่วนที่สองคือการสกัดน้ำมันปาล์มได้ผลผลิตหลักคือ น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) และน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) และส่วนที่เหลือจากการผลิตหลักและของเสีย ได้แก่ ทะลายเปล่า กะลาปาล์ม เส้นใยกากตะกอน และน้ำเสียสำหรับน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้จะถูกบ้อนเข้าสู่โรงงานกลั่นหรือรีไฟน์เพื่อผลิตเป็นน้ำมันปาล์มเพื่อการบริโภค หรือสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล หรือบ้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมแปรรูปเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น สบู่ น้ำยาซักล้าง เป็นต้น

น้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยกลีเซอไรด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไตรกลีเซอไรด์มากกว่า 90% กรดไขมันอิสระ 3-5% และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เป็นกลุ่มวิตามินและนิวเทรียนต์อีกร้อยละ 1% โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับวิตามินที่สำคัญ 2 ชนิดคือ วิตามินอีและสารแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างวิตามินเอ ปริมาณของสารทั้งสองชนิดที่พบในน้ำมันปาล์มสูงเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ สำหรับผลปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้สกัดน้ำมันจะไม่เสถียรอย่างมากและเสื่อมสภาพได้ง่าย เนื่องจากเกิดไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นกรดไขมันอิสระ การยับยั้งการเกิดไฮโดรไลซิสทำได้หลายวิธีทั้งการใช้ความร้อนและความเย็น สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ดำเนินการโดยนำผลทั้งทะลายเข้าสู่หม้ออบความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C ความดัน 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเวลา 60 นาที แล้วจึงบีบน้ำมันออกมา สำหรับชนิดของกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันปาล์มดิบแสดงได้ดังตารางที่ 2.1คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบสามารถวัดได้จากกรดไขมันอิสระ ความชื้นและสิ่งสกปรก น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิห้องมีสภาพกึ่งของเหลวกึ่งของแข็งหรือไขโดยทั่วไปมีอุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 40°C และแข็งตัวในช่วงอุณหภูมิ 25-50°C ขึ้นกับชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันดิบ ปริมาณและคุณลักษณะของแข็งหรือไขขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นของตัวทำละลายที่เติมลงไป การแยกส่วนไขและของเหลวออกจากกันอาจทำได้ทั้งกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ หรืออาจใช้สองกระบวนการร่วมกัน โดยส่วนที่ได้จากการกรองที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีลักษณะของแข็งเรียกว่าสเตียรีน และส่วนที่ผ่านการกรองที่เป็นของเหลวเรียกว่าโอลีน (สิริพร, 2550) สำหรับวิตามินอีและเบตาแคโรทีนซึ่งเป็นไฟโตนิวเทรียนต์ที่สำคัญอยู่ในปาล์มน้ำมันและมีราคาขายค่อนข้างสูงนั้น ประกอบด้วยอนุพันธ์หลายชนิดซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในส่วนถัดไป

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม

ชนิดกรดไขมัน	ช่วง (ร้อยละ)
12:0	0-1
14:0	0.9-1.5
16:0	39.2-45.8
16:1	0-0.4
18:0	3.7-5.1
18:1 (n-9)	37.4-44.1
18:2(n-6)	8.7-12.5
18:3	0-0.6
20:0	0-0.4

(ที่มา: Sandramและคณะ, 2003 อ้างอิงจาก พัชรินทร์ และคณะ, 2550)

2.2 เบตาแคโรทีนและวิตามินอี

2.2.1 เบตาแคโรทีน

เบตาแคโรทีนเป็นส่วนประกอบของสารมีสีที่มีมากที่สุดในน้ำมันปาล์ม เบตาแคโรทีนละลายได้ในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ มีสีส้ม ตัวอย่างสูตรโมเลกุลของเบตาแคโรทีนคือ $C_{40}H_{56}$ และมีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 536.88 กรัมต่อกรัมโมลเบตาแคโรทีนจัดเป็นรูปหนึ่งของกลุ่มแคโรทีนหรือแคโรทีนอยด์โดยเบตาแคโรทีนเป็นโปรวิตามินเอซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นวิตามินเอได้ น้ำมันปาล์มเป็นแหล่งของวิตามินเอที่สำคัญ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มรีไฟน์หรือน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วนั้น ปริมาณของเบตาแคโรทีนจะถูกลดลงไปในระหว่างกระบวนการผลิต ปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มรีไฟน์ถูกปรับปรุงให้มีคุณภาพของน้ำมันสูงขึ้นเพื่อให้คงปริมาณสารสำคัญ เช่น ปริมาณแคโรทีน เป็นต้น กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยการใช้กรดฟอสฟอริกเพื่อกำจัดก๊าด กระบวนการฟอกสี การกำจัดกลิ่น และการลดค่าความเป็นกรดที่อุณหภูมิต่ำ

เบตาแคโรทีนมีคุณสมบัติการเป็นสารแอนติออกซิเจนต์ที่ดี สามารถป้องกันการทำลายจากอนุมูลอิสระ ทำให้สามารถป้องกันการเกิดโรคได้หลากหลาย นอกจากนี้ยังสามารถใช้แคโรทีนอยด์เป็นสีผสมอาหารได้เช่นกัน สำหรับตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของแคโรทีนหรือแคโรทีนอยด์ในรูปแบบต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์ม

ชนิดของแคโรทีนอยด์	สัดส่วนองค์ประกอบ (โดยน้ำหนัก)
Phytoene	1.27
Cis- β -Carotene	0.68
Phytofluene	0.06
β -Carotene	56.02
α -Carotene	35.16
Cis- α -Carotene	2.49
ζ -Carotene	0.69
γ -Carotene	0.33
δ -Carotene	0.83
Neurosporene	0.29
β -Zeacarotene	0.74
α -Zeacarotene	0.23
Lycopene	1.30

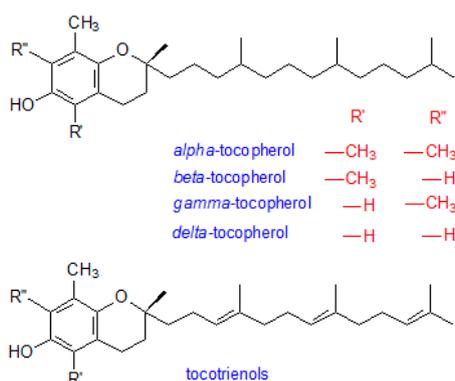
(ที่มา: Wei และคณะ, 2005)

ปริมาณเบตาแคโรทีนในพืชจะแปรผันค่อนข้างมากกับชนิด พันธุ์ อายุ และอิทธิพลของสภาวะแวดล้อม เช่น ดิน ฤดูกาล สภาพอากาศและภูมิประเทศ เป็นต้น รวมทั้งการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้นจะมีผลทำให้เบตาแคโรทีนลดลง รวมทั้งขั้นตอนการผลิตและการแปรรูปสามารถทำลายเบตาแคโรทีนได้เช่นกัน สำหรับอนุพันธ์แคโรทีนอยด์ถูกทำลายได้ง่ายจากการรีไฟน์น้ำมันซึ่งมีการรายงานผลการศึกษาว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ลดลงกว่าครึ่งหลังจากผ่านขั้นตอนการฟอกสีในกระบวนการรีไฟน์กายภาพ นอกจากนี้ยังสามารถถูกทำลายอย่างมากในขั้นตอนการกำจัดกรดและกันหืน ณ อุณหภูมิสูง (240-260°C) และความดันต่ำ (1-3 mm.Hg) (Goh et al., 1985; Rossi et al., 2001) ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมางานวิจัยการแยกเบตาแคโรทีนทั้งในประเทศและต่างประเทศมีจำนวนมากขึ้น

แต่การศึกษาส่วนใหญ่มักจำกัดอยู่ในส่วนการดูดซับ การสกัดด้วยตัวทำละลาย การแยกเชิงกล การกลั่น รวมถึงการใช้ปฏิกิริยา (เช่น ซาฟอนนิฟิเคชัน) และการแยกที่สภาวะเหนือวิกฤติ นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาเน้นเฉพาะการแยกเท่านั้น ยังไม่พบว่ามีการศึกษาแยกเบตาแคโรทีนเพื่อทำให้บริสุทธิ์

2.2.2 วิตามินอี

วิตามินอีเป็นไฟโตนิวเทรียนต์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญในการเป็นสารแอนต้ออกซิแดนซ์และถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยา อาหารเสริมและเครื่องสำอางค์ วิตามินอีมีโครงสร้างโมเลกุลแสดงดังรูปที่ 2.1 วิตามินอีประกอบด้วยอนุพันธ์ 8 ชนิด โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ชนิด กลุ่มแรกคือโทโคฟีรอล (tocopherols) มีอนุพันธ์เป็นแอลฟาโทโคฟีรอล(α -), แกมมาโทโคฟีรอล(γ -),เบตาโทโคฟีรอล(β -) และเดลตาโทโคฟีรอล(δ -) และกลุ่มที่สองคือโทโคไตรเอนอล(tocotrienols) ซึ่งมีอนุพันธ์เป็นแอลฟาโทโคไตรเอนอล(α -), แกมมาโทโคไตรเอนอล(γ -),เบตาโทโคไตรเอนอล(β -) และเดลตาโทโคไตรเอนอล(δ -) ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของวิตามินอี (<http://lipidlibrary.aocs.org/Lipids/tocol/index.htm>)

คุณสมบัติของวิตามินอีคือละลายในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ มีลักษณะเป็นน้ำมันใส หนืด และมีกลิ่นเล็กน้อย มีสีเป็นสีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลแดง แต่ถ้าอยู่ในรูปสารบริสุทธิ์จะไม่มีสีและกลิ่น สารแอลฟาโทโคฟีรอลบริสุทธิ์มีความเสถียรต่อความร้อนและกรด แต่ไม่ทนต่อด่างและแสง รวมทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวอย่างสูตรโมเลกุลของโทโคฟีรอลเป็น $C_{29}H_{50}O_2$ และมีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 430.17 กรัมต่อกรัม โมลความหนาแน่น 0.950 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร วิตามินอีพบมากในพืช (น้ำมันพืช เมล็ดพืช) ส่วนใหญ่จะถูกสะสมอยู่ในเมล็ดพืช ในทำนองเดียวกันปริมาณวิตามินอีในพืชแปรผันตามชนิดพันธุ์ วิธีการและสิ่งแวดล้อมของการเพาะปลูก วิธีการเก็บรักษา รวมทั้งขั้นตอนกระบวนการแปรรูปก็สามารถทำลายวิตามินอีได้เช่นกัน ปริมาณโทโคฟีรอลและโทโคไตรเอนอลของพืชชนิดต่างๆ มีหลากหลาย ขึ้นกับพันธุ์ การปลูก ภูมิศาสตร์และภูมิอากาศ และสภาวะการปลูก และมีการนำเสนอในบทความวิจัยหลากหลาย ในที่นี้แสดง

ตัวอย่างของปริมาณโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลของพืชน้ำมันจากสองแหล่งความรู้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ เห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวเป็นแหล่งของวิตามินอีที่มีความเป็นไปได้สูงที่นำมาพัฒนากระบวนการผลิตวิตามินอีระดับเกรดการค้าได้

ข้อมูลจากตารางที่ 2.3 และ 2.4 พบว่าน้ำมันปาล์มมีวิตามินอีในรูปของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันทานตะวันจะมีเฉพาะโทโคฟีรอล จากข้อมูลการรายงานใน Malaysian Palm Oil Board พบว่าโทโคไตรอีนอลในน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติที่ดีการต้านทานมะเร็งและลดการเกิดทิวเมอร์ (tumor) ในหนูทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไขมันข้าวโพดอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีการรายงานจำนวนมากอธิบายวิตามินอีต่อความจำเป็นในคุณภาพชีวิตหลายด้าน เช่น เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ โดยทำหน้าที่เป็นรีดิวซิ่งที่ดีมาก ช่วยทำลายกลุ่มฟรีเรดิคัลได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งช่วยรักษาความแข็งแรงของเมมเบรนเซลล์ไม่ให้เกิดง่าย ป้องกันการทำลายเซลล์ ป้องกันหลอดเลือดอุดตัน การเป็นหมัน และรักษาสภาพเพิ่มภูมิคุ้มกัน

ตารางที่ 2.3 ปริมาณโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลของพืชน้ำมัน ในหน่วย (mg/1000 g)

แหล่ง	โทโคฟีรอล				โทโคไตรอีนอล			
	แอลฟา	เบตา	แกมมา	เดลตา	แอลฟา	เบตา	แกมมา	เดลตา
ปาล์ม	89	-	18	-	128	-	323	72
ถั่วเหลือง	100	8	1021	421	-	-	-	-
ข้าวโพด (เมซ; maize)	282	54	1034	54	49	8	161	6
ทานตะวัน	670	27	11	1	-	-	-	-
เรพซีด (rapeseed)	202	65	490	9	-	-	-	-

(ที่มา: www.sources_of_Tocotrienols.htm; Data from: Gunstone, F.D., Harwood, J.L. and Padley, F.B. The Lipid Handbook, second edition, Chapman & Hall, London, 1994)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลของพืชน้ำมันในหน่วย mg/1000 g หรือ ppm

แหล่ง	โทโคฟีรอล				โทโคไตรอีนอล				รวม
	แอลฟา	เบตา	แกมมา	เดลตา	แอลฟา	เบตา	แกมมา	เดลตา	
น้ำมันปาล์ม1	256	-	316	70	143	32	286	69	1172
น้ำมันปาล์ม2	279	-	61	-	274	-	398	69	1081
น้ำมันปาล์ม	152	-	-	-	205	-	439	94	890
รำข้าว	324	18	53	-	236	-	349	-	980
น้ำมันมะพร้าว	5	-	-	6	5	1	19	-	36
น้ำมันจมูกข้าวสาลี	1,179	398	493	118	24	165	-	-	2,377
น้ำมันถั่วเหลือง	101	-	593	264	-	-	-	-	958
น้ำมันมะกอก	51	-	-	-	-	-	-	-	51

(ที่มา: www.sources_of_Tocotrienols.htm; Data from Slover H.T., Lipids, 6, 291, 1971 and White et al., Analyst, 92, 423, 1967.)

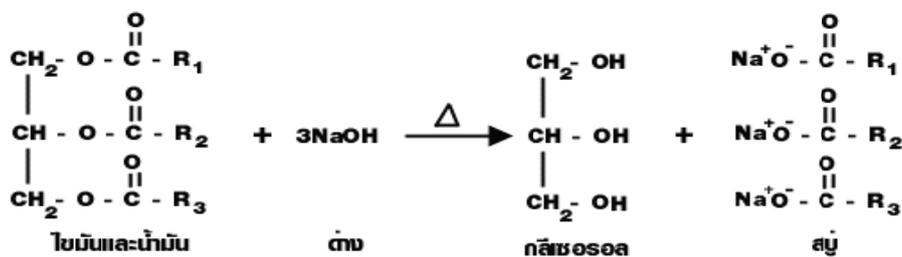
การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอีหรือโทโคฟีรอลและเบตาแคโรทีนในน้ำมันพืชสามารถใช้เครื่องมือวิเคราะห์คือ HPLC (high pressure liquid chromatography) หรือ GC (gas chromatography) ก็ได้ โดยต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่ดี เพราะน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก ในขณะที่โทโคฟีรอลและเบตาแคโรทีนเป็นองค์ประกอบรอง ดังนั้นการเตรียมตัวอย่างจึงเป็นขั้นตอนที่ละเอียด ซึ่งพบว่าสามารถใช้ปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชันด้วยต่างเพื่อกำจัดไตรกลีเซอไรด์ (Lietz and Henry, 1996; Fernandez และคณะ, 2000; Salo-Vaananen และคณะ, 2000; Park และคณะ, 2004) รายละเอียดปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชันจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

2.3 การสกัดและปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชัน

การสกัดเป็นกระบวนการที่ใช้แยกสารที่ต้องการออกจากของผสมหรือสารละลายโดยใช้ตัวทำละลายและวิธีการที่เหมาะสม ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคสกัดที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่สถานะเหนือวิกฤติ วิธีนี้กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากของไหลมีสมบัติอยู่ระหว่างของเหลวและแก๊ส ดังนั้นความหนืดจึงต่ำกว่าของเหลว และมีความสามารถแพร่ซึมสูงมาก รวมทั้งยังไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์

(Brunner, 2005; Carlsonและคณะ, 2005; Sarrade และคณะ, 1998) อย่างไรก็ตามการลงทุนชุดเครื่องมือมีราคาสูง เพราะต้องทนกับความดันสูงให้ได้ จึงเหมาะกับระบบการผลิตขนาดใหญ่ นอกจากนี้การแยกวิตามินยังสามารถทำได้โดยอาศัยความแตกต่างทางคุณสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์ เช่น การกลั่นสุญญากาศ โดยใช้การระเหยของวิตามินที่มีจุดเดือดต่ำกว่าไตรกลีเซอไรด์ หรือการใช้ความเย็นเยือกแข็งเพื่อแยกไตรกลีเซอไรด์ออก ทั้งนี้เพราะไตรกลีเซอไรด์จะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิต่ำมากๆ โดยที่วิตามินอีในตัวทำละลายยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ จึงใช้หลักการกรองเพื่อกรองแยกของแข็งไขมันออก ข้อดีของวิธีการนี้คือการคงสภาพเดิมและให้ยิลด์ที่สูง ไม่สูญเสียผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อเสียด้านพลังงานที่ใช้ในระบบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้การสกัดด้วยเอนไซม์ไลเปสเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียวิตามินได้เช่นกัน (Lietzและ Henry, 1996)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบหลักคือน้ำมันและไขมัน (ไลพิด, lipid) เป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ โดยไขมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของแข็ง ส่วนน้ำมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของเหลว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีชื่อทางเคมีว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล 1 โมเลกุล กับกรดไขมัน 3 โมเลกุล การกำจัดไขมันโดยการนำไปต้มกับสารละลายต่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้กลีเซอรอลกับเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ เรียกปฏิกิริยาการเกิดสบู่ว่า ซาฟอนนิฟิเคชัน (saponification) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ปฏิกิริยานี้จะไม่ผันกลับ ดังนั้นปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชันจึงเป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ไลพิด ทำให้ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่ตัวเอง ไลพิดที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเรียกว่าซาฟอนนิฟิเคชันแมทเทอร์ (saponifiable matter) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ฟอสโฟไลพิด (phospholipid) ขี้ผึ้ง (wax) เป็นต้น ส่วนไลพิดที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง จัดเป็นunsaponifiable matter หรือ non-saponifiable matter



รูปที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชัน

ที่มา <http://www.room601.ob.tc/Lipid2.html>

สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาแนวทางการสกัดด้วยกระบวนการซาฟอนนิฟิเคชันของต่างเจือจาง KOH เพื่อการไฮโดรไลซิส ในการทำลายพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์พอสฟอไลปิด ฯลฯ เพื่อให้ง่ายต่อการสกัด แล้วจึงล้างเอากลีเซอรอลและเกลือของโพแทสเซียมของสบู่ แล้วสกัดส่วนอันซาฟอนนิฟาย (unsaponify fraction) ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ อย่างไรก็ตามการทำซาฟอนนิฟิเคชันอาจทำให้เกิดการสูญเสียสารเบตาแคโรทีน วิตามินอี และ สเตอรอล บางส่วนได้ จึงมีข้อเสนอแนะการทำซาฟอนนิฟิเคชันด้วยการใช้สารแอนติออกซิแดนท์ที่ว่องไว เช่น กรดแอสคอบิก เป็นต้น

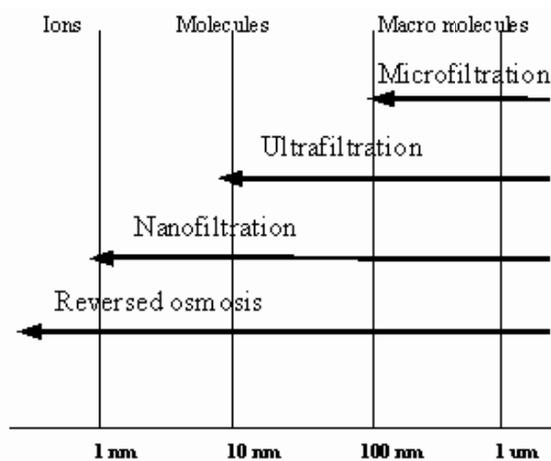
จากปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชันนั้น พบว่าวิตามินอีและเบตาแคโรทีนแยกอยู่ในส่วนอันซาฟอนนิฟายด์ ดังนั้นจึงต้องแยกออกมาเพื่อเตรียมสารป้อน ซึ่งในที่นี้เลือกใช้ตัวทำละลายคือเฮกเซน ทั้งนี้เพราะเฮกเซนมีค่าอิเล็กทริกไดโพล (electric dipole) ต่ำ จึงสามารถใช้ได้ดีกับตัวถูกละลายที่มีขั้วต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับตัวถูกละลายที่เป็นน้ำมัน และเฮกเซนมีจุดเดือดต่ำ สามารถระเหยแยกออกจากตัวถูกละลายได้ง่ายและมีสารตกค้างภายหลังการระเหยต่ำ (พัชรินทร์ และคณะ, 2550) นอกจากนี้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช ดังนั้นการคงใช้เฮกเซนในงานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต ตัวอย่างคุณสมบัติของตัวทำละลายแสดงได้ดังตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของตัวทำละลายต่างๆ

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของตัวทำละลาย(ที่มา: พัชรินทร์ และคณะ, 2550 ดัดแปลงจาก Rydberg, 1992 และ <http://www.engineeringtoolbox.com:Boiling point fuels, 2007>)

Solvent	Molecular weight	Dielectric constant	Boiling point (°C)
n-hexane	86.2	1.88	68.7
n-octane	114.3	1.95	258.3
Benzene	78.1	2.28	80.1
Toluene	92.1	2.38	110.6
Chloroform	119.4	4.9	61.2
Water	18.0	78.4	100.0
Methanol	32.0	32.7	64.0
Ethanol	46.1	26.6	78.3
Acetone	58.1	20.7	56.3
Diethyl ether	74.1	4.34	34.6
Nitrobenzene	123.1	34.8	210.9

2.4 เยื่อและการกรองด้วยเยื่อ

การกรองด้วยเมมเบรนหรือการแยกด้วยเยื่อ เป็นหน่วยปฏิบัติการหนึ่งที่ใช้มา มีบทบาทสำคัญและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นขึ้นและสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ ข้อเด่นของการแยกอนุภาคในเฟสของเหลวด้วยเมมเบรนคือการใช้พลังงานที่ต่ำเพราะไม่ต้องมีการใช้พลังงานเพื่อเปลี่ยนแปลงเฟส (ยกเว้นกระบวนการเพอร์เวปเพอเรชัน) รวมทั้งยังเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อการเสื่อมสภาพเมื่ออุณหภูมิสูง การนำเมมเบรนไปประยุกต์ใช้งานได้นั้นขึ้นกับความสามารถและคุณภาพของเมมเบรนเป็นหลัก เช่น ต้องมีความแข็งแรงเชิงกล มีเสถียรภาพต่อสารเคมีและความร้อน ณ สภาพะทำงาน, ให้ค่าฟลักซ์และการเลือกผ่านสูง, เกิดฟัลวลิงต่ำและทำความสะอาดได้ง่ายเมื่ออุดตัน รวมทั้งเมมเบรนมีราคาไม่แพง กระบวนการแยกโดยเทคโนโลยีเมมเบรนสามารถดำเนินการได้หลายแบบ แต่ในงานวิจัยนี้จะเป็นกระบวนการเมมเบรนแบบใช้แรงดันขับ (Pressure driven membrane process) แบ่งระดับไปตามขีดความสามารถในการแยกของขนาดของรูเยื่อกรองที่คัดแยกอนุภาค โมเลกุล อีออนต่างๆในของเหลว (จากหยาบไปละเอียด ดังรูปที่ 2.3 แบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ ระดับไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration) อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) นาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration) และ รีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) (Mulder, 1991; Howell, 2004)



รูปที่ 2.3 แสดงระดับของเทคโนโลยีเยื่อแผ่น

(ที่มา: www.lenntech.com/membrane-technology.htm)

เกณฑ์การคัดขนาดการแยกมีการนำเสนออย่างหลากหลาย และช่วงขนาดจะมีการซ้อนทับกันบ้างแต่โดยหลักการแล้ว การแยกด้วยเมมเบรนในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชันเป็นการแบ่งตามขนาดรูพรุนนั่นเอง โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูขนาดใหญ่สุดจะถูกกักไว้ทั้งหมด ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูขนาดใหญ่สุดและใหญ่กว่ารูที่มีขนาดเล็กสุดจะถูกกักอยู่เป็นบางส่วนและบางส่วนจะผ่านไปขึ้นกับการกระจายขนาดของรูเมมเบรน ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูที่เล็กที่สุดจะผ่านไปทั้งหมด จึงกล่าวได้ว่าการแยกด้วยเมมเบรนจึงเป็นการคัดขนาดโมเลกุลนั่นเอง ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน

ลักษณะ	ไมโครฟิลเตรชัน	อัลตราฟิลเตรชัน
เมมเบรน	สมมาตร หรือ ไม่สมมาตร	สมมาตร หรือ ไม่สมมาตร
เกณฑ์แยก	Pore size: 0.05-10 μm	MWCO: 10^3 - 10^6 Da
ความดันขับ	≤ 2 bar	2-10 bar
หลักการแยก	Sieving	Sieving
จุดประสงค์แยก	solution or gas free of particles	solution, fractionation, concentration

ที่มา (Kovasin, 2002; Pospisilและคณะ, 2004)

เมมเบรนหรือเยื่อจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดต่อประสิทธิภาพการแยกและความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ขั้นตอนเริ่มต้นในการเลือกใช้เมมเบรนคือลักษณะทางเคมีเชิงฟิสิกส์เพราะมีผลต่อคุณภาพการแยกและการเกิดฟัลวลิ่ง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงรูปแบบการใช้เพราะมีผลต่อค่าพาซิตีและฟัลวลิ่ง รวมทั้งการสิ้นเปลืองพลังงานการประยุกต์เทคโนโลยีเยื่อแผ่นในยุคแรกและต่อเนื่องมาจนปัจจุบันในภาคอุตสาหกรรมการผลิตหลักๆ (เลือกใช้ตามขีดความสามารถของแต่ละระดับ) เช่น อุตสาหกรรมอาหาร-เครื่องดื่ม (เบียร์ ไวน์ นม น้ำผลไม้) เพื่อแยกองค์ประกอบ เช่น โปรตีน เอมไซม์-แลคโตสฟรุกโตส ไขมัน แร่ธาตุ วิตามินต่างๆ โดยไม่ใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนต่ำเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ปลอดภัยในขณะที่แยกซึ่งทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพเหมือนหรือใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ ค่ากรดต่าง ตัวทำละลาย แรงกระทำต่างๆ เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตยา (ใช้เพื่อแยกองค์ประกอบทางเคมี ตัวยาสำคัญที่มีราคาแพง สารปฏิชีวนะ วิตามินต่างๆ ที่มีความเข้มข้นในระดับต่ำ) ซึ่งการทำให้บริสุทธิ์และนำกลับคืนผลิตภัณฑ์เสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะในแง่ของพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการแบบทั่วไป ในขณะที่การใช้อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมโลหะ (แยก

น้ำมัน แยกสารเคมี ตัวเติม- ตัวเร่งปฏิกิริยา โลหะ และอื่นๆ) และ/หรือนำกลับคืนสิ่งที่มีมูลค่า เช่น เอมีไซม์ โปรตีน น้ำตาล น้ำมัน อีออนโลหะในรูปออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ซึ่งมีขนาดอยู่ในระดับคอลลอยด์ วิตามิน ต่างๆที่เหลือค้างกลับออกมาจากน้ำหรือน้ำป้อน เป็นต้น (Baker, 2000; Grandison และ คณะ, 1996) ทั้งนี้ แสดงขนาดของโมเลกุล อนุภาค และ อีออน ดังแสดงในตารางที่ 2.7 ในขณะที่การขยายตัวของ การประยุกต์ใช้งาน พบว่ามีการใช้ในสาขากระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพทางการแพทย์ เช่น การใช้แยกเซลล์ การใช้ฟอกเลือดให้บริสุทธิ์ การใช้ร่วมในถังหมักกระบวนการชีวภาพ เป็นต้น(Howell และ คณะ 1993; Wang, 2001) โดยเลือกรูปแบบของกระบวนการ และชนิด-สมบัติของเยื่อแผ่น (ชอบน้ำ-Hydrophilic membrane, ไม่ชอบน้ำ-Hydrophobic membrane, มีประจุ และ ไม่มีประจุที่ผิว เป็นต้น)

ตารางที่ 2.7 อนุภาคขนาดเล็ก ขนาดโมเลกุล และ อีออนต่างๆ (ที่มา: Beaton, 1980)

ชนิด	ช่วงของขนาด (นาโนเมตร)
Yeasts and fungi	1,000-10,000
Bacteria	300-10,000
Oil emulsions	100-10,000
Colloidal solids	100-10,000
Viruses	30-300
Proteins/Polysaccharides (mol.wt 10^4 - 10^6)	2-10
Common antibiotics (mol.wt 300-1000)	0.6-1.2
Organic molecules (mol.wt 30-500)	0.3-0.8
Inorganic ions (mol.wt 10-100)	0.2-0.4
Water (mol.wt 18)	0.2

วัสดุที่ผลิตเยื่อแผ่น (โพลีเมอร์, เซรามิกส์) รูปร่างชุดเยื่อแผ่น (แบบท่อกลาง, แบบเส้นใย, แบบแผ่นเฟรม, แบบม้วน) รูปแบบการเดินระบบ (แบบปิดตาย-Dead End filtration และ แบบไหลขวาง-Cross flow filtration) และรูปแบบการกรอง (Inside to Outside และ Outside to Inside) ให้สอดคล้องกับลักษณะ และสมบัติน้ำป้อนและ/หรือสารที่ต้องการแยก ภายใต้หลักของเทคโนโลยีที่มีความคุ้มค่าและเกิดประสิทธิผลสูง (Eco-Technology and Optimisation) สามารถเดินระบบได้อย่างต่อเนื่องซึ่งปัจจุบันนี้มีการพัฒนาจน

เกิดจุดคั่งพูนทั้งในเรื่องของ พลังงาน ค่าต้นทุนของเยื่อแผ่น(Howell และ คณะ, 1993; Mulder, 1991; Jonesและ คณะ, 2000)

ลักษณะการใช้งานเทคโนโลยีเยื่อแผ่นในกระบวนการแยก สามารถสรุปได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ การแยกตัวทำละลายออกจากตัวถูกละลาย มีวัตถุประสงค์ให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์สูง เป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์ใส (การแยกของแข็งแขวนลอย อนุภาคระดับคอลลอยด์ เชื้อโรคปนเปื้อน ออกจากโปรตีน และ/หรือเอมไซม์ เป็นต้น) การทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้น และการแยกตัวถูกละลายออกจากตัวถูกละลาย เพื่อแยกของผสมที่มีขนาดโมเลกุลระดับไมครอนและนาโน ทั้งนี้ในรูปแบบของการแยกกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนสำคัญในช่วงท้ายของกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม (downstream processing) ขณะที่รูปการการใช้งานเพื่อการแยกในลำดับต่อมานั้นมีความเป็นไปได้และเป็นเทคโนโลยีที่คาดหวังสำหรับการใช้งานแยกหลายชนิด โมเลกุลที่มีความแตกต่างกันของขนาด-มวลโมเลกุล เช่น การแยก PEG, BSA, α -lactalbumin และ lysozyme (Cheryan, 1998), การแยกกรดอะมิโน โปรตีนชนิดต่างๆ (การแยกโปรตีนจากส่วนใสของนา และ เนื้อปลา) (Nakaoและ คณะ, 1988; Whuและ คณะ, 2000; Afonsoและ คณะ, 2002) ทั้งนี้สามารถจัดวางรูปแบบ-ระดับการใช้งานร่วมกับขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิตช่วงตอนต้นและตอนท้ายของกระบวนการ ทำให้มีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนใช้งานได้แบบระบบเดี่ยว (Single Process) หรือ ใช้งานแบบหลายระดับร่วมกัน (Multi series Process) หรือ ใช้งานร่วมกับหน่วยกระบวนการทางกายภาพและเคมีแบบอื่นๆ ที่สามารถจัดวางรูปแบบและลำดับการแยกระดับต่างๆตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการของแต่ละอุตสาหกรรม ขณะเดียวกันก็สามารถขยายสเกลเพื่อรองรับกำลังการใช้งานที่เพิ่มขึ้นในอนาคต (Durham และ คณะ 2001) และมีการประยุกต์ใช้เยื่อแผ่นระดับไมโครและอัลตราฟิลเตรชันในการแยกไตรกลีเซอไรด์ฟอสโฟไลปิดที่เกิดขึ้นระหว่างการทำดีกัมมิ่งน้ำมันพืช (Juliana และ คณะ 2005)

ในขณะที่ประเด็นการเกิดฟลาวริงที่มีหลายลักษณะที่เกิดขึ้นขณะเดินระบบเยื่อแผ่นระดับต่างๆ (Chen และคณะ, 1997; Bowen และคณะ, 1999; Gotor และคณะ, 2001) ส่งผลให้สมรรถนะและขีดความสามารถในการแยกขณะเดินระบบแบบต่อเนื่องและกึ่งต่อเนื่องลดลง โดยพอสรุปลักษณะหลักๆ ของฟลาวริงที่เกิดขึ้นแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบร่วมกัน คือ เกิดจากการสะสมความเข้มข้นของอนุภาคโมเลกุลที่ใกล้ผิวหน้าเยื่อแผ่น (concentration polarization), การสะสมของอนุภาค-โมเลกุลที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น การบดลอกของอนุภาค-โมเลกุลภายในรูกรอง และการอุดตันภายในรูกรอง เป็นสิ่งที่สามารถควบคุมได้ด้วยหลายเทคนิคร่วมกันภายใต้ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการสมัยใหม่ เช่น การเดินระบบที่ค่าฟลักซ์ต่ำ (Field และคณะ, 1995; Howell, 1995) การเดินระบบที่ค่าความดันขับต่ำ การใช้เทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ และการปรับสภาพน้ำป้อนเข้าระบบ รวมถึงการเลือกใช้วัสดุเยื่อแผ่นและระดับของความสามารถในการแยกที่เหมาะสมกับลักษณะน้ำป้อน เป็นต้น ซึ่งการใช้หลายเทคนิคร่วมกันเป็นสิ่งที่ทำให้ระบบมีความ

ค้่มทุนสูง เติ่นระบบได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ราคาต้นทุนเยื่อแผ่นในตลาดโลกมีราคาถูกลง คุณภาพเยื่อเมมเบรนที่พัฒนาและผลิตขายมีคุณภาพดี มีแนวโน้มการเกิดฟลาวริงในระดับต่ำ อายุเยื่อแผ่นสำหรับการใช้งานยาวนานขึ้น เป็นต้น (Howell และคณะ, 1993; Howell, 2004; Sheikholeslami, 1999; Wakeman และคณะ, 2002)

กระบวนการเมมเบรนเป็นกระบวนการที่ใช้ความดันเป็นแรงขับเพื่อแยกสารป้อนให้ได้เป็นสองกระแส คือกระแสเพอร์มิเอท(permeate) เป็นส่วนที่ผ่านเมมเบรน และกระแสรีเทนเทท(retentate) เป็นส่วนที่ถูกกักกันด้วยเมมเบรน หลักการทำงานของกระบวนการนี้มีดังนี้ จากสารละลายป้อนที่ประกอบด้วยโมเลกุลเล็กและใหญ่ร่วมกันนั้น เมื่อเข้าสู่ระบบกรองแล้วนั้น ส่วนโมเลกุลเล็กในสารละลายจะผ่านเมมเบรนได้โดยอาศัยแรงดันขับเคลื่อนสารเนื่องจากผลต่างความดันระหว่างเมมเบรน (transmembrane pressure, TMP) ในขณะที่ตัวถูกละลายจะถูกกักไว้ด้วยเมมเบรนเรียกว่า รีเทนเทท หรือสารละลายเข้มข้น (concentrate, enrichment) ในขณะที่ตัวทำละลายและตัวถูกละลายบางส่วนที่ประกอบด้วยสารโมเลกุลขนาดเล็กที่ผ่านเมมเบรนได้คือเพอร์มิเอท การนำส่วนรีเทนเทท และ/หรือเพอร์มิเอทไปใช้ขึ้นกับจุดประสงค์การแยก

กระบวนการเมมเบรนด้วยความดันเป็นแรงขับสามารถแบ่งระดับได้หลายชั้น เช่น การกรองระดับไมโครฟิลเตรชัน การกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน การกรองระดับนาโนฟิลเตรชันและออสโมซิสผ้นกลับ เป็นต้น ข้อจำกัดที่สำคัญของการกรองระดับไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน หรือนาโนฟิลเตรชัน คือคุณภาพของสารป้อน ยกตัวอย่างเช่น หากนำกระบวนการกรองดังกล่าวใช้กับสารป้อนที่ตัวถูกละลายหรือองค์ประกอบหลากหลายชนิดแล้ว จะทำให้ฟลักซ์ลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการกักกันของเมมเบรน เพราะการเกิดฟาล์วสิ่งปนผิวหน้าและ/หรือในรูพรุนของเมมเบรน ส่งผลทำให้สมรรถนะของการกรองลดลง สำหรับการกรองระดับนาโนฟิลเตรชันเป็นการกรองที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา การกรองนาโนฟิลเตรชันเป็นกระบวนการแยกที่อาศัยแรงขับดันที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างออสโมซิสผ้นกลับและอัลตราฟิลเตรชัน โดยเมมเบรนการกรองระดับนาโนฟิลเตรชันจะมีขนาดรูพรุนที่เล็กกว่าเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันส่งผลทำให้เมมเบรนสามารถกักกันสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 ในขณะที่เดียวกับการกรองระดับนาโนฟิลเตรชันเมื่อเทียบกับออสโมซิสผ้นกลับพบว่า ค่าการกักกันไอออนที่มีวาเลนซีเดียวมีค่าน้อยกว่า โดยการกรองนาโนฟิลเตรชันสามารถกักกันได้ประมาณร้อยละ 10-80 ขึ้นกับคุณลักษณะของเมมเบรน แต่สามารถกักกันไอออนที่มีวาเลนซีตั้งแต่ 2 ขึ้นไป ได้มากกว่าร้อยละ 90 การนำประโยชน์การกรองระดับนาโนฟิลเตรชันได้แก่ การแยกสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำออกจากสารละลาย การแยกสารพิษโมเลกุลเล็กออกจากน้ำ การผลิตเนยแข็งและน้ำผลไม้และการดั่งกรดอะมิโนและสารปฏิชีวนะ เป็นต้น (Raman และคณะ, 1994, ภัทรศักดิ์เพชร, 2549; Jiratananon และคณะ, 2000, Ducom และ Cabassud, 1999; Matsubara, 1996)

การแบ่งกระบวนการกรองสามารถแบ่งออกได้บนฐานของรูปแบบการดำเนินการและทิศทางการไหลของสารป้อนได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การกรองแบบปิดตาย (dead end filtration) และการกรองแบบไหลขวาง (cross flow filtration) ดังนั้นการกรองแบบปิดตายเป็นการกรองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยทิศทางการป้อนสารจะตั้งฉากกับเมมเบรน ส่งผลทำให้เกิดเค้กหรือการสะสมของอนุภาคบนผิวหน้าเมมเบรนได้ง่าย จึงเกิดความต้านทานการกรองที่เร็วและเพิ่มขึ้น ดังนั้นฟลักซ์ของระบบจึงลดลงอย่างรวดเร็ว รูปแบบการกรองแบบปิดตายเหมาะกับการกรองที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายต่ำ หรือเป็นการกรองในปริมาณน้อยๆ เพื่อทดสอบเยื่อ เป็นต้น สำหรับการกรองแบบไหลขวางจะมีทิศทางป้อนสารขนานกับผิวหน้าเมมเบรน หรือตั้งฉากกับกระแสเพอร์มิเอท ข้อเด่นของการกรองแบบไหลขวางคือสามารถลดการสะสมของอนุภาคและการเกิดเค้กที่ผิวหน้าเมมเบรนได้ดีจึงเหมาะกับการกรองสารที่มีปริมาณมาก(ชันทอง, 2547; Coutinho และคณะ, 2009; Subramanian และคณะ, 1998; Subramanian และคณะ, 2003)

จากที่ได้กล่าวข้างต้น ปรากฏการณ์คอนเซนเทรชันพอลาไรเซชันและฟาล์วลิ่งมีผลต่อสมรรถนะของระบบกรองด้วยเมมเบรน อธิบายได้ดังนี้ คอนเซนเทรชันพอลาไรเซชันเป็นฟาล์วลิ่งแบบผันกลับได้ เกิดขึ้นจากตัวถูกละลายขนาดโมเลกุลต่างๆ ถูกแรงขับเคลื่อนความดันผลักไปยังบริเวณผิวหน้าเมมเบรน สำหรับตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่จะถูกกักไว้ที่ผิวหน้าเมมเบรนหรือใกล้ผิวเมมเบรน จึงเกิดการสะสมตัวถูกละลายเหล่านี้ที่บริเวณใกล้ผิวและที่ผิวเมมเบรนเพราะโมเลกุลเหล่านี้ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่บริเวณใกล้ผิวเมมเบรนมีค่าสูงกว่าบริเวณที่ห่างออกไปในบัลค์สารละลาย ดังนั้นโมเลกุลเหล่านี้จึงเกิดการแพร่กลับ (back diffusion) ไปยังบัลค์เพราะผลต่างของความเข้มข้น หากความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่บริเวณผิวหน้าเมมเบรนสูงจนถึงขีดจำกัดการแพร่ของสารนั้นๆ แล้ว ตัวถูกละลายจะเกิดเป็นเจลหรือชั้นเค้กที่บริเวณใกล้ผิวหน้าเมมเบรน โดยชั้นเจลหรือเค้กนี้จะทำหน้าที่เสมือนเป็นเมมเบรนอีกชั้นหนึ่ง ดังนั้นฟลักซ์จึงลดลงเพราะชั้นเจลหรือเค้กสร้างความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น รวมทั้งอาจส่งผลต่อสมรรถนะการแยกสารด้วยเช่นกัน เพราะคุณสมบัติการกักกันเปลี่ยนแปลงขึ้นกับลักษณะของชั้นเค้กที่เกิดขึ้นดังนี้ หากตัวถูกละลายขนาดเล็กเคลื่อนที่ในชั้นเค้กได้ช้า (นั่นคือรูพรุนของเค้กมีขนาดเล็กและแน่นกว่าเมมเบรนจริง) ดังนั้นคุณสมบัติการกักกันจะเพิ่มขึ้น เพราะโมเลกุลขนาดเล็กไม่สามารถเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้ยากเพื่อไปสู่เมมเบรนจริงของระบบ

ฟาล์วลิ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สมรรถนะของเมมเบรนลดลง ส่งผลต่อฟลักซ์เพอร์มิเอทและอายุเมมเบรนลดลง การแยกฟาล์วลิ่งและคอนเซนเทรชันพอลาไรเซชันอาจอธิบายคร่าวๆ ได้ดังนี้ ฟาล์วลิ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อนุภาคมีการสะสมและอุดตันของตัวถูกละลายทั้งที่ผิวหน้าและภายในรูพรุนของเมมเบรนและไม่สามารถผันกลับได้ โดยมีแรงกระทำระหว่างอนุภาคและเมมเบรนอย่างมาก ทำให้เมมเบรนมีขนาดรูพรุนเล็กลง การเกิดฟาล์วลิ่งสามารถเกิดได้หลายอย่าง เช่นที่ผิวด้านนอกของเมมเบรนเป็นชั้นเค้กที่ช่องเปิดรูหรือ

ภายในรู การเกิดฟัลวลิ่งบางชนิดจะทำให้รูเมมเบรนมีขนาดเล็กลง เพราะขวางการไหลผ่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการล้างทำความสะอาดยาก เป็นต้น กลไกการเกิดฟัลวลิ่งสามารถหาได้ในหนังสือและบทความงานวิจัยจำนวนมาก และไม่ขอกล่าวรายละเอียดในที่นี้ สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฟัลวลิ่งได้แก่ สภาพแวดล้อม เช่น ความเร็วไหลของ ความดัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาจากคุณสมบัติเมมเบรน และคุณสมบัติของสารละลายด้วยเช่นกันการกำจัดฟัลวลิ่งเป็นสิ่งสำคัญเพื่อคงสมรรถนะการกรอง อย่างไรก็ตามต้นทุนการกำจัดฟัลวลิ่งอาจสูงถึง 30% ของค่าดำเนินการ รวมทั้งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะการกำจัดฟัลวลิ่งจำเป็นต้องใช้สารเคมีนั่นเอง

คุณสมบัติของเมมเบรนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อสมรรถนะการกรอง การเลือกวัสดุเมมเบรนเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นลำดับแรกเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน สารป้อน และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแยก เพื่อป้องกันการเกิดฟัลวลิ่ง ปัจจัยที่ต้องพิจารณาเลือกใช้เมมเบรนได้แก่ คุณสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ลักษณะผิวหน้าเมมเบรน ประจุของเมมเบรน ขนาดรูพรุน เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้เป็นการกรองเฟสน้ำมัน ซึ่งต้องเป็นเมมเบรนที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ เพื่อให้ฟลักซ์และคุณสมบัติการเลือกผ่านดี สำหรับขนาดรูพรุนมีผลต่อการแยกและฟลักซ์โดยฟลักซ์มีค่าสูงหากเลือกใช้เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนใหญ่ และมีแนวโน้มลดลงหากเลือกใช้เมมเบรนที่มีเนื้อแน่นและรูพรุนขนาดเล็กเพราะส่งผลต่อการอุดตันและสะสมอยู่ในรูพรุนเมมเบรน คุณสมบัติของเมมเบรนที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือวัสดุที่ใช้ผลิต ซึ่งเมมเบรนเกรดการค้าใช้วัสดุผลิตที่แบ่งกว้างๆ ได้สองชนิดคือ พอลิเมอร์ ได้แก่ cellulose acetate, polyamide, polysulfone, polyvinylidenedifluoride เป็นต้น และอนินทรีย์ ได้แก่ โลหะและเซรามิกส์ เป็นต้น ลักษณะเฉพาะของวัสดุการผลิตมีผลต่อคุณภาพเมมเบรน เช่น เยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชันที่ผลิตจากพอลิซัลโฟน (polysulfone) เพราะมีความทนต่อสารเคมีและอุณหภูมิ คงทนต่อแรงกลที่ดี และเป็นเยื่อแผ่นชนิดที่ไม่ชอบน้ำ สำหรับเยื่อแผ่นเซลลูโลสอะซิเตทเป็นชนิดชอบน้ำ จึงเหมาะกับระบบการแยกที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เป็นต้น (Coutinhoและคณะ, 2009)

ตัวแปรดำเนินงานในกระบวนการเมมเบรนที่สำคัญได้แก่อุณหภูมิความดัน ความหนืด ความหนาแน่นของสารป้อน รวมทั้งความเร็วไหลของของระบบกรองไหลของ เป็นต้น โดยทั่วไปฟลักซ์เพอร์มิเอชันตรงกับ ความดัน แต่ผกผันกับความหนืด สำหรับอุณหภูมิสูงมีผลต่อฟลักซ์ในทิศทางที่สูงขึ้น เพราะอุณหภูมิสูงมีผลต่อความหนืดและความสามารถในการละลายของสารป้อนที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิสูงมีผลต่อการเสื่อมสภาพสาร เช่น อุทสาหรารณมและยาที่มีความไวต่อการเสื่อมสภาพ ณ อุณหภูมิสูง สำหรับความดันมีผลต่อฟลักซ์เช่นกันเนื่องจากระบบใช้ความดันเป็นตัวขับเคลื่อน แต่ความดันที่สูงเกิน อาจมีผลทำให้ฟลักซ์ลดลงหรือคงที่ได้ เพราะทำให้อนุภาคมีการอัดตัวแน่นขึ้น สำหรับในงานวิจัยนี้ความดันเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษาการ

กรองระบบปิดตาย นอกจากนี้รูปแบบเมมเบรน เช่น แผ่น หรือโมดูลมีผลต่อสมรรถนะระบบเช่นกัน (Coutinhoและคณะ,2009)

2.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการสกัดวิตามินอีและไฟโตนิวเทรียนต์จากพืชและพืชน้ำมันมีมากมาย ในส่วนนี้จะกล่าวสรุปข้อมูลงานวิจัยและสิทธิบัตรโดยย่อของการสกัดวิตามินอีและแคโรทีนอยด์ที่สำคัญและเทคนิคการประยุกต์ใช้เยื่อแผ่นในการกรองระดับนาโนฟิลเตรชันที่น่าสนใจ ดังต่อไปนี้

Coutinhoและคณะ (2009) รวบรวมผลการศึกษาการใช้เมมเบรนในกระบวนการน้ำมันพืช ตั้งแต่ชนิดเมมเบรนและการนำไปใช้ในการรีไฟน์น้ำมัน เช่น การทำดีกัมหรือกำจัดยางเหนียว การลดกรด การฟอกสี การนำตัวทำละลายกลับคืน การลดแวกซ์ และการแยกโทโคฟีรอลและแคโรทีนอยด์ออก

Subramanian และคณะ (1998) ศึกษาการแยกโทโคฟีรอลออกจากน้ำมันดิบถั่วและน้ำมันทานตะวัน (triacylglycerols) ด้วยเมมเบรนพอลิเมอร์ที่ใช้วัสดุซิลิโคนเป็นชั้นแอคทีฟ และใช้พอลิซัลโฟนและพอลิเอไมด์เป็นชั้นรองรับ ณ ความดัน 30 บาร์ อุณหภูมิ 40°C ความเร็วทวน 400 รอบต่อนาที พบว่ากระแสเพอร์มิเอทมีค่าโทโคฟีรอลสูง

Subramanian และคณะ (2003) ศึกษาการใช้เมมเบรนชนิดเนื้อแน่นที่ใช้วัสดุซิลิโคนเป็นชั้นแอคทีฟ และพอลิเอไมด์เป็นชั้นรองรับ โดยใช้วัสดุเป็นน้ำมันทานตะวันที่มีโอเลอิกสูง สภาวะการทดลองดำเนินการในช่วงความดัน 20-50 บาร์ และอุณหภูมิ 20-50°C พบว่าสามารถแยกโทโคฟีรอลได้

Sri Muruganและคณะ (2009) ศึกษาการแยกแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบ (โอเลอีน) ด้วยชุดการกรองแบบปิดตายเพื่อทดสอบเมมเบรนสองชนิดที่มีขนาด MWCO คือ 400 และ 700 Da เครื่องกรองที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ปริมาตรบรรจุ 30 มิลลิลิตร และสามารถรับความดันได้สูงสุด 40 บาร์ สำหรับสภาวะการทดลองดำเนินการ ณ ความดันคงที่ 30 บาร์ อุณหภูมิ 27°C การวิเคราะห์เบตาแคโรทีนด้วยการปรับวิธีมาตรฐาน PORM p2.6 (1995) โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ณ 446 nm และรีเอเจนต์คือ 2,2,4-trimethylpentane (iso-octane) พบว่าเมมเบรนในการทดลองสามารถแยกแคโรทีนได้และมีความเป็นไปได้ที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรม

Vachiraananและคณะ (2008) ศึกษาการใช้กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนควบคู่กับการกรองเพื่อแยกแอลฟาโทโคฟีรอลในน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ยิลด์แอลฟาโทโคฟีรอลลดลง ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มเวลาปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชันนานขึ้น ยิลด์ของ

แอลฟาโทโคฟีรอลลดลงเช่นกันสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการทำปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชันบนฐานของยิลด์ แอลฟาโทโคฟีรอลที่ดีที่สุดคือ ความเข้มข้นของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10% เวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 70°C อย่างไรก็ตามสภาวะการทดลองที่เหมาะสมนี้ไม่สามารถกำจัดไตรกลีเซอไรด์ได้ทั้งหมด สำหรับกระบวนการแยกด้วยเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันเพื่อแยกไตรกลีเซอไรด์หลังจากปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชันพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกำจัดไตรกลีเซอไรด์ลดลง ในขณะที่ยิลด์ของแอลฟาโทโคฟีรอลเพิ่มขึ้น สำหรับพลักซ์เพอร์มิเอทพบว่ามีการลดลงเมื่อเวลาการกรองนานขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเริ่มต้นทั้งนี้เพราะชั้นเจลจากคอนเซนเทรชันพอลาริเซชัน

Carlson และคณะ (2005) ศึกษาการแยก D-limonene ในสารละลายจากกระบวนการ Supercritical CO₂ โดยใช้เยื่อแผ่นระดับรีเวอร์สออสโมซิส 3 ชนิด (CF-Thin film, SG-Polyimide, AK-Cellulose acetate, CE-Osmonic) และ ระดับนาโนฟิลเตรชัน 2 ชนิด (CF-Thin film, HL-Osmonic) ซึ่งมีความสามารถในการกักกันสารละลายเกลือได้ 97 เปอร์เซ็นต์ เติมน้ำที่ค่าความดันผ่านเยื่อแผ่น 0.5 MPa (สารป้อนมีค่าความดันจาก Supercritical CO₂ ที่ 12 MPa, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เยื่อแผ่นระดับรีเวอร์สออสโมซิสชนิด SG เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด มีความสามารถในการกักกันสูงเกือบ 94 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเยื่อแผ่นชนิด AK ไม่สามารถกักกัน D-limonene ในขณะที่ ชนิด HL มีความสามารถกักกันในระดับต่ำประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้คณะวิจัย กล่าวว่า การใช้เยื่อแผ่นชนิด SG มีศักยภาพเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการ Supercritical CO₂ เนื่องจากใช้พลังงานรวมในกระบวนการต่ำเพื่อนำกลับตัวทำละลายมาใช้ใหม่ได้สูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์

Wei และคณะ (2005) ศึกษาการสกัดเบตาแคโรทีนด้วยสภาวะเหนือวิกฤติด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และวิเคราะห์ปริมาณเบตาแคโรทีนด้วย UV-vis spectrophotometry พบว่าปริมาณเบตาแคโรทีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันสูงขึ้นในกระบวนการอุณหภูมิคงที่ และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงในกระบวนการความดันคงที่ การเพิ่มอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และลดขนาดของตัวอย่างการสกัดสามารถลดเวลาสกัดได้ แต่ไม่มีผลต่อความสามารถการละลาย นอกจากนี้เบตาแคโรทีนละลายได้น้อยในคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือวิกฤติ

Dechfoong(2005) ทำการสกัดแยกแคโรทีนอยด์ด้วยกระบวนการดูดซับ โดยใช้เคลย์เบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยเงิน ซึ่งเคลย์นำเข้ามาจากประเทศจีนและญี่ปุ่น การเตรียมเคลย์เริ่มด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนและการรีดักชันด้วยเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดของการดูดซับคือ การป้อนด้วยอัตราส่วนระหว่างเคลย์และน้ำมัน 1:5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 60°C เวลา 60 นาที ซึ่งสามารถ

ดูดซับแคโรทีนได้ 86.82% สำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการชะตัวดูดซับด้วยเตตระไฮโดรฟิวแรนคือ ใช้ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 90 นาที พบว่าสามารถชะเบตาแคโรทีนได้ 75.67%

Krishna และคณะ (2006)ศึกษาองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันจากถั่วลิสง และน้ำมันดอกคำฝอย โดยตรวจหา ความเข้มข้นของสี ค่ากรดไขมันอิสระ วิตามินอีและส่วนอันซาพอนนิฟาย รวมทั้งกลีเซอไรด์ จากผลการศึกษาพบว่าน้ำมันรำข้าวมีสัดส่วนของวิตามินอีสูงกว่าที่พบในน้ำมันพืชชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบแกมมาโอโรซานอลในน้ำมันรำข้าวเท่านั้น สำหรับกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันรำข้าว คือปาล์มมิติกโอเลอิก และลินโนเลอิก สำหรับปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันรำข้าวจะมีปริมาณน้อยกว่าพืช น้ำมันชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

Hu และคณะ (1996)ศึกษาการสกัดวิตามินอีและโอโรซานอลจากน้ำมันรำข้าวโดยเปรียบเทียบการ สกัดระหว่างตัวทำละลายสองชนิดคือ ไอโซโพรพานอลและเฮกเซน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและ รำข้าวเป็น 2:1 และ 3:1 อุณหภูมิ 40-60°C และ เวลาสกัด 5-30 นาที ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มเวลาสกัด และปริมาณของตัวทำละลายส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดบนฐานของปริมาณน้ำมันที่ได้ วิตามินอี และแกมมาโอโรซานอลอย่างมีนัยสำคัญ และไอโซโพรพานอลให้ผลการสกัดที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับเฮกเซน สำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดโดยใช้ไอโซโพรพานอลคือ อัตราส่วนระหว่างไอโซโพรพานอลและรำข้าว เป็น 3:1 เวลาการสกัด 15 นาที และ อุณหภูมิ 60°C

Goncalvesและคณะ (2007) ศึกษาหาสัมประสิทธิ์พาร์ฟิชั่นของแคโรทีนอยด์และโทโคฟีรอลด้วย แบบจำลอง UNIQUAC โดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลในขั้นตอนการลดกรด ข้อมูลสมมูลของ ระบบน้ำมันปาล์ม+กรดไขมัน+เอทานอล+น้ำ+นิวทราลิตีคัล ณ อุณหภูมิ 318.2 K ถูกนำเสนอ

Saravananและคณะ (2006) ศึกษาผลการใช้เฮกเซนเพื่อเจือจางน้ำมันพืชดิบต่อคุณภาพการแยกด้วย เมมเบรนในกระบวนการแบบปิดตาย พบว่าเมมเบรนที่ใช้ให้ค่าการแยกฟอสโฟไลปิดและสีที่ดีมาก ในขณะที่ ค่าฟลักซ์ยังต้องปรับปรุงให้มีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองแสดงปริมาณของเฮกเซนเพื่อเจือจางมีผลต่อค่าฟลักซ์ น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการเจือจางด้วยเฮกเซนไม่มีผลต่อการแยกฟอสโฟไลปิดจากน้ำมันพืชรำ ข้าวและถั่วเหลืองนอกจากนี้พบว่าปริมาณการใช้เฮกเซนเพื่อแยกแคโรทีนอยด์พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมคือ 1:2

Raviyanและคณะ (2005) ศึกษาการสกัดเบตาแคโรทีนด้วยอุณหภูมิต่ำ -10°C ในระบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ซึ่งระบบประกอบด้วยการลดอุณหภูมิเฮกเซน การแยกไขมัน ชุดแลกเปลี่ยน ความร้อนและชุดควบแน่น ใช้ใบพัดกวนด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที และเวลาการสกัด 3 ชั่วโมง พบว่าสามารถสกัดแคโรทีนออกมาได้ร้อยละ 52 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในน้ำมันปาล์ม โดยแคโรทีนอยด์ที่

สกัดได้จากชุดสกัดเป็นสีชนิดที่ละลายในน้ำมัน และมีเฮกเซนตกค้าง 62 ppm และเมื่อนำไปทำให้เข้มข้นด้วยปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน พบว่าเกิดการสูญเสียประมาณร้อยละ 43

Cinar (2004) ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์จากแครอทด้วยเอนไซม์เพคตินเนสและเซลลูเลสโดยมีตัวแปรที่สนใจคือความเสถียรของสีภายใต้สภาวะการผลิตโดยการแช่สารละลายโซเดียมไบซัลเฟต 0.2% กับการไม่แช่ การเตรียมวัตถุดิบเริ่มด้วยการจุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงศึกษาผลของสารละลายโซเดียมไบซัลเฟต สำหรับการสกัดสีด้วยเอนไซม์ใช้อุณหภูมิห้อง เวลา 24 ชั่วโมง และสัดส่วนของเพคตินเนส 2.5 มิลลิกรัม และเซลลูเลส 2 กรัมต่อสารป้อน 100 กรัมสำหรับสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และ 25°C โดยสัมผัสกับแสงเทียบกับไม่สัมผัสแสง พบว่าสีที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์มีความเสถียรมากกว่าสีที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย

Yuan และคณะ (สิทธิบัตร JP2004-143150) เสนอแนวทางการสกัดวิตามินอี ไฟโตสเตอรอลและสควาลีนจากน้ำมันปาล์มที่ไม่ได้รีไฟน์ กระบวนการผลิตประกอบด้วยการทำเอสเทอร์ฟิเคชัน ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน การกลั่นสุญญากาศซาฟอนนิฟิเคชัน การตกผลึก และการสกัดด้วยตัวทำละลายตามลำดับ โดยน้ำมันปาล์ม unrefined จะผ่านการทำเอสเทอร์ฟิเคชันหรือทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเกิดเมทิลเอสเทอร์ จากนั้นวิตามินอี ไฟโตสเตอรอลและสควาลีน รวมทั้งโมโนกลีเซอไรด์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาถูกแยกออกจากเมทิลเอสเทอร์ด้วยกระบวนการกลั่นสุญญากาศหลายขั้น จากนั้นกลุ่มวิตามินและสารอื่นจะถูกแยกอีกด้วยกระบวนการตกผลึกเพื่อให้ได้ไฟโตสเตอรอล ในขณะที่การแยกวิตามินอีและสควาลีนจะใช้ตัวทำละลายเพื่อแยกออก

Petsom (2003) ทำการสกัดแยกแคโรทีนอยด์ด้วยกระบวนการดูดซับ โดยใช้ดินเหนียว 6 ชนิด คือ เบนโทไนต์ ไตอะตอมไมต์แทลคัม ดินขาวจากจังหวัดลำปาง ดินขาวจากจังหวัดระนอง และบอลเคลย์ โดยนำดินเหนียวทั้งหมดกระตุ้นด้วยกรดและการแลกเปลี่ยนไอออนพบว่า การใช้ดินเหนียวที่ไม่ผ่านการบำบัดมีผลต่อการสลายตัวของเบตาแคโรทีน สำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการดูดซับคือ การใช้เบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินเหนียวและน้ำมัน 1:5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 70°C เวลา 70 นาที ซึ่งสามารถดูดซับแคโรทีนได้ 99.782% สำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการชะตัวดูดซับด้วยเตตระไฮโดรฟิวแรนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที พบว่าสามารถชะเบตาแคโรทีนได้ 7.73%

Lee และคณะ (2000) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อการสกัดหาปริมาณวิตามินอีในมะเขือเทศ และบร็อคโคลี่ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) ตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณของ

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 60%, เวลาซาฟอนนิฟิเคชัน ณ อุณหภูมิ 70°C และร้อยละเอทานอล โดยใช้เครื่อง HPLC หาปริมาณของวิตามินอี

Koris and Vatai (2002) ศึกษาการแยกกรดไขมันชนิด ฟอสโฟไลปิด จากน้ำมันถั่วเหลืองดิบและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ด้วยการใช้เยื่อแผ่นชนิดแผ่นที่มีขนาดรูกรอง 0.2 ไมครอน, MWCO 55 kDa และ 15 kDa ที่ความดันขั้วระหว่าง 1-7 บาร์ พบว่า การแยกฟอสโฟไลปิดออกจากน้ำมันพืชดิบโดยใช้เยื่อแผ่น เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องมีการใช้กระบวนการปรับปรุงเบื้องต้นก่อนแยก เยื่อแผ่นที่มีขนาดรูกรอง 15 kDa มีความสามารถแยกกรดไขมันชนิดฟอสโฟไลปิดได้สูงสุดถึง 77 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความดันขั้ว 5 บาร์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้การเดินระบบแบบไหลขวางที่ความเร็วการไหล 0.3-0.4 ลิตร/ลบ.ม.

Baryeh (2001) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ความดัน และเวลาของกระบวนการบีบน้ำมันปาล์ม ในช่วงการศึกษาตัวแปรมีดังนี้ อุณหภูมิ (80-140°C), ความดัน (5-35 MPa) และเวลา (10-40 นาที) พบว่าเมื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิแล้ว น้ำมันที่ได้ลดลงเพราะทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลงเนื่องจากการเพิ่มความดัน นอกจากนี้หากเพิ่มความดันสูงกว่า 25 MPa จะไม่มีผลต่อผลได้น้ำมัน และสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 120°C และ 140°C เวลา 20 นาที ณ ความดัน 25 MPa

Wu และ Lee (1999) ศึกษาการใช้เยื่อแผ่นระดับอัลตราฟิลเตรชันกระบวนการสกัดแยกน้ำมันถั่วเหลืองออกจากเฮกเซนแทนกระบวนการระเหยด้วยความร้อน โดยใช้เยื่อแผ่นชนิดเซรามิก ขนาดรูกรอง 0.02 ไมครอน อัตราการป้อนสารป้อนระหว่าง 0.1-40 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ค่าความดันขั้วให้กับระบบระหว่าง 101-808 kPa และ เดินระบบการกรองแบบไหลขวางโดยกำหนดความเร็วรอบของการกวนเหนือผิวกรองที่ 120 รอบต่อนาที ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการแยกน้ำมันถั่วเหลืองออกจากเฮกเซนโดยใช้เซรามิกเมมเบรนในระดับอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้แยกตัวทำละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และ ค่าเพอร์มิเอทที่ได้มากขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วรอบการกวนสารป้อนที่ผิวเยื่อแผ่น ในขณะที่เดียวกันเป็นการลดปรากฏการณ์ฟลาวริงด้วย ทั้งนี้คณะผู้วิจัยกล่าวว่าการใช้เยื่อแผ่นที่มีขนาดรูกรองที่เล็กกว่า 0.02 ไมครอน เป็นอีกแนวทางหนึ่งของการเพิ่มประสิทธิภาพของการแยกให้สูงขึ้น

Lietz และ Henry (1996) ได้เสนอวิธีไฮโดรไลซิสด้วยการใช้เอนไซม์ไลเปส *Candida cylindracea* เพื่อลดการสูญเสียแคโรทีนอยด์และโทโคฟีรอลระหว่างการสกัดเนื่องจากปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชันที่ต้องใช้ต่าง การทดลองจะทำที่อุณหภูมิ 35°C ใช้โซเดียมฟอสเฟตเป็นบัฟเฟอร์และเติมกรดแอสคอร์บิก แล้วจึงทำการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างไดเอทิลอีเทอร์กับปิโตรเลียมอีเทอร์ จากการทดลองพบว่าการทำซาฟอนนิฟิ

เคชั่นจะทำให้เกิดการสูญเสียหรือเปลี่ยนรูปของแคโรทีนอยด์และโทโคฟีรอลแต่ไม่พบการสูญเสียในการใช้
เอนไซม์ไลเปส