

การตรวจเอกสาร

น้ำมันเป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ น้ำมันที่ได้จากพืชส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง แต่น้ำมันที่ได้จากผลปาล์ม มะพร้าว และสัตว์จะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันแต่ละชนิดมีประโยชน์ที่ต่างกัน เช่น น้ำมันทานตะวันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้มีประโยชน์ต่อร่างกาย ด้านระบบการทำงานของสมอง ป้องกันมะเร็ง และช่วยเผาผลาญโคเลสเตอรอล เป็นต้น (Marvey, 2003) ส่วนน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัวสูง จึงนิยมใช้เป็นน้ำมันทอดอาหาร

ความสำคัญของน้ำมันพืช

น้ำมันหรือไขมัน ทั้งที่ได้มาจากพืชและสัตว์ เป็นส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงานสูง อาหารที่คนเราบริโภคในแต่ละวันควรมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบของอาหาร 20 - 30% ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด (นิธิยา, 2539) น้ำมันที่ใช้ประกอบอาหารและใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ ผลิตจากวัตถุดิบ 3 แหล่ง คือ พืช สัตว์ และสัตว์ทะเล โดยมีอัตราส่วนดังนี้ น้ำมันจากพืช 71% น้ำมันจากสัตว์ 26% และน้ำมันจากสัตว์ทะเล 2% พืชแต่ละชนิดให้ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำมันในพืชแต่ละชนิด

วัตถุดิบ	ปริมาณน้ำมัน (%)
บาบาสสุ	65 – 60
เนื้อในเมล็ดปาล์ม	45 – 50
ถั่วลิสง	45 – 50
เมล็ดทานตะวัน	35 – 45
เมล็ดดอกคำฝอย	30 – 35
มะกอก	25 – 30
ถั่วเหลือง	18 – 20

ที่มา: ดัดแปลงจาก Salunkhe and Deshpande (1991)

น้ำมันที่ได้จากพืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกันด้วย เช่น น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันทานตะวัน มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจึงนิยมใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร เช่น ประุงอาหาร ทำน้ำมันสลัด เป็นต้น แต่ไม่นิยมนำมาใช้ทอดอาหาร เพราะเหม็นหืนง่าย ส่วนน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว มีกรดไขมันอิ่มตัวสูงทำให้ทนต่อการเกิดออกซิเดชัน และไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิต่ำ จึงนิยมนำมาใช้เป็นน้ำมันทอดอาหาร นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นที่ไม่ใช่อาหารได้ เช่น การทำสบู่ เป็นต้น ส่วนน้ำมันธรรมชาติ เช่น น้ำมันมะกอกและน้ำมันงา จะได้มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันแบบบีบอัด น้ำมันที่ได้จึงมีวิตามิน และกลีเซอรอลตามธรรมชาติของวัตถุดิบเริ่มต้น จึงนิยมนำไปใช้ในการเพิ่มกลิ่นรสของอาหาร (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543)

ลักษณะทั่วไปของน้ำมันบริโภค

น้ำมันและไขมันบริโภค (edible oils and fats) หมายถึง อาหารที่เป็นกลีเซอไรด์ของกรดไขมันต่าง ๆ ที่ได้จากพืชและสัตว์ ไขมันจากสัตว์ที่จะใช้เป็นอาหารได้ ต้องมาจากสัตว์ที่มีสุขภาพดี ขณะทำการฆ่า ในโรงฆ่าสัตว์ที่ได้รับอนุญาตโดยถูกต้องตามกฎหมาย และผ่านการตรวจรับรองจากเจ้าพนักงาน โดยน้ำมันและไขมันบริโภคแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันและไขมันบริโภคธรรมชาติ และ น้ำมันและไขมันบริโภคชนิดรีไฟน์ น้ำมันและไขมันบริโภคธรรมชาติ หมายถึง น้ำมันและไขมันบริโภค ซึ่งได้มาจากการบีบอัด หรือการใช้ความร้อนเท่านั้น อาจทำให้สะอาดได้โดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง และการหมუნเหวี่ยงเท่านั้น ส่วนน้ำมันและไขมันบริโภคชนิดรีไฟน์ หมายถึง น้ำมันและไขมันบริโภค ที่ผ่านกรรมวิธีกำจัดกรด การฟอกสี และการกำจัดกลิ่น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516)

สมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามวัตถุดิบเริ่มต้น โดยแบ่งเป็น 2 แบบ คือ สมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเคมี น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำมันแต่ละชนิดมีส่วนประกอบและโครงสร้างของโมเลกุลแตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติทางฟิสิกส์ สมบัติทางเคมี และเกิดปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ แตกต่างกัน สมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำมันมีประโยชน์ในการใช้จำแนกและชี้บ่งชนิดของน้ำมัน ได้แก่ จุดหลอมเหลว จุดแข็งตัว ความถ่วงจำเพาะ การหักเหของแสง สี จุดเป็นควัน จุดเป็นประกาย และจุดติดไฟ คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน ได้แก่ ค่าไอโอดีน (iodine value) ค่าสะaponนิไฟซ์ (saponification value) สารที่ไม่สะaponนิไฟซ์ (unsaponifiable matter) ค่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid) และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) (Meyer, 1970)

น้ำมันพืชทั่วไปเมื่อเก็บไว้นานขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส เช่น กลิ่น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางค่านเคมี คือ การหืน สามารถแบ่งการหืนของน้ำมันได้ 3 แบบ คือ การหืนจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic rancidity) การหืนจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน (oxidative rancidity) และการหืนจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบคีโตน (ketonic rancidity) (Robert, 2000)

1. การหืนจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic rancidity)

การหืนจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสเมื่อมีความชื้น ทำให้น้ำมันเกิดการแตกตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระที่มีกลิ่นเฉพาะตัว โดยเฉพาะกรดไขมันชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและระเหยได้ง่าย เช่น กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว ปฏิกิริยานี้มีตัวเร่งคือ อุณหภูมิ (Jadhav *et al.*, 1996) สามารถติดตามการหืนจากปฏิกิริยานี้ได้โดยวัดปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น

2. การหืนจากปฏิกิริยาเติมออกซิเจน (oxidative rancidity)

กลิ่นหืนจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เองหรือออกโตออกซิเดชัน (autooxidation) (Hamilton, 1994) เกิดจากการที่น้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนตลอดเวลา ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ยังมีจำนวนพันธะคู่มากขึ้นการเกิดการหืนจากปฏิกิริยานี้จะมากขึ้นด้วย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและอนุมูลอิสระของไฮโดรเจน ซึ่งอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ เกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และอนุมูลอิสระของกรดไขมัน สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นสารที่ไม่คงตัว จะสลายตัวเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน ส่วนอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปได้อีก (Stauffer, 1996) นอกจากทำให้อาหารมีกลิ่นหืนแล้วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร สูญเสียวิตามินและกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย (Simic *et al.*, 1992) สามารถวิเคราะห์การหืนจากปฏิกิริยานี้ได้โดยวัดค่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ค่าทีบีเอ (Stauffer, 1996) และความคงทนต่อการหืนของน้ำมันด้วยเครื่อง Rancimat 679 (Allen and Hamilton, 1994)

3. การหืนจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบคีโตน (ketonic rancidity)

ปฏิกิริยานี้เกิดจากเชื้อราที่มีอยู่ในอาหาร โดยเชื้อราที่มีอยู่จะใช้อินทรีย์ไขมันเป็นสารอาหารเพื่อใช้ในการเติบโต เชื้อราในกลุ่มนี้ ได้แก่ เพนนิซิลเลียม (*Penicillium*) แอสเปอร์จิลลัส (*Aspergillus*) และโมนิเลีย (*Monilia*) เมื่อเกิดปฏิกิริยาจะทำให้กรดไขมันแตกตัวเป็นสารประกอบพวกคีโตนที่หืนกลิ่น เห็นได้ชัดในการเกิดกลิ่นของชีส (cheese) จากการบ่มด้วยเชื้อรา และการหมักหืนในน้ำมันมะพร้าวที่เตรียมจากมะพร้าวที่เน่าเสียมีเชื้อรา (Triebold and Aurand, 1963)

น้ำมันพืชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำมันมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น น้ำมันข้าวโพดจะเกิดการหืนน้อยกว่าน้ำมันปาล์ม เพราะมีวิตามินอีที่เป็นตัวยับยั้งการหืนมากกว่า (Chow, 1985) สามารถป้องกันการหืนที่เกิดขึ้นได้ด้วยการบรรจุและการขนส่งที่ดี เพื่อลดปริมาณออกซิเจนและความชื้น (Hamilton, 1994) รวมถึงการเติมสารกันหืน เช่น วิตามินอี ลงในน้ำมันเพื่อยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (Robert, 2000)

น้ำมันประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์มากมายหลายชนิด และในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดยังประกอบด้วยกรดไขมันที่แตกต่างกัน ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของน้ำมันให้แตกต่างกัน โดยน้ำมันที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นจำนวนค่าที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือน้ำมันหนึ่งกรัมจะมีค่าที่แน่นอนและเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันแต่ละชนิดได้ โดยเรียกค่านี้ว่า saponification value เมื่อนำน้ำมันมาไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง (saponification) จะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ และกลีเซอรอล ส่วนที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเรียกว่าสารสะปอนนิไฟซ์ (saponifiable matter) ได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ฟอสโฟลิปิด และแวกซ์ ส่วนที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเรียกว่าสารที่ไม่สะปอนนิไฟซ์ (unsaponifiable matter) ได้แก่ สารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสเตอรอล น้ำมันนอกจากจะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์แล้ว ยังประกอบด้วยสารประกอบอื่น ๆ ปนอยู่ด้วย ซึ่งปริมาณสารประกอบเหล่านี้จะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและแหล่งที่มาของวัตถุดิบนั้น ๆ สารประกอบอื่น ๆ ที่พบในน้ำมันมีดังนี้

1. ฟอสโฟลิปิด (phospholipid)

พบในส่วนของ saponifiable matter เป็นสารประกอบที่โมเลกุลประกอบด้วย กลีเซอรอล กรดไขมัน แอลกอฮอล์ เบสที่มีไนโตรเจน (nitrogen - containing bases) และกรดฟอสฟอริก สามารถแบ่งออกเป็น 8 กลุ่มย่อย ได้แก่ กรดฟอสฟาติก (phosphatidic acid) เลซิธิน (lecithin) เซฟา ลิน (cephalin) ฟอสฟาติดีลินอสitol (phosphatidylinositol) ฟอสฟาติดีลเซรีน (phosphatidyl serine) ไลโซฟอสโฟลิปิด (lysophospholipids) พลาสมาโลเจน (plasmalogens) และสฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelins) โดยปริมาณของฟอสโฟลิปิดในน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิด ของพืช ความแก่ของเมล็ด และวิธีการสกัดน้ำมัน (David, 1981)

2. สเตอรอล (sterol)

พบในส่วนของ unsaponifiable matter เพียงเล็กน้อย สเตอรอลที่พบในพืชเรียกว่า ไฟ โตสเตอรอล (phytosterols) มีหลายชนิด ได้แก่ เบตา - สิตสเตอรอล (β - sitosterol, $C_{29}H_{50}O$) สติก มาสเตอรอล (stigmasterol, $C_{29}H_{48}O$) และเออร์โกสเตอรอล (ergosterol) เป็นต้น เออร์โกสเตอรอล สามารถพบได้ทั้งในพืชและยีสต์ โดยจะทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินดี (Lehninger, 1975)

3. ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon)

โดยทั่วไปในไขมันและน้ำมันจะมีไฮโดรคาร์บอนปนอยู่ในส่วน unsaponifiable mater เพียง 0.1 - 1.0% เท่านั้น ไฮโดรคาร์บอนที่พบมากที่สุด คือ สควอลีน (squalene, $C_{30}H_{50}$) (David, 1981)

4. รงควัตถุ (pigment)

รงควัตถุที่พบในไขมันและน้ำมัน คือ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารที่ให้สีเหลืองถึง แดงเข้ม ชนิดที่พบมากที่สุดคือ เบตา - แคโรทีน สารพวกแคโรทีนอยด์ไม่ทนต่อความร้อน ดังนั้น การฟอกสีที่ใช้อุณหภูมิสูง หรือการกำจัดกลิ่นโดยใช้ไอน้ำจะช่วยให้สีน้ำมันจางลงได้ พบว่าในน้ำ มันปาล์มดิบมีสารแคโรทีนสูงถึง 0.05 - 0.2% ถ้าให้ความร้อนน้ำมันปาล์มจนมีอุณหภูมิถึง 149 - 177° ซ สีแคโรทีนจะสลายไป (Swern, 1964) น้ำมันที่แยกได้จากเมล็ดพืชน้ำมันที่ต่างชนิดกันจะมีสีที่แตก

ต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ เช่น น้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองจะมีสีเหลืองเนื่องจากมีรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ประกอบอยู่ และน้ำมันจากผลมะกอกอ่อนจะมีสีเขียวเนื่องจากมีรงควัตถุกลุ่มคลอโรฟิลล์ประกอบอยู่ เป็นต้น (Giovacchino *et al.*, 1994)

5. สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีหมู่ฟีนอลอย่างน้อย 1 หมู่อยู่ในสูตรโครงสร้าง มีสมบัติเป็นวัตถุกั้นหืน สารในกลุ่มนี้รวมถึง กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) กรดแคฟเฟอิก (caffeic acid) กรดควินินิก (quinnic acid) กรดโพรพิลแกลเลต (propylgallate acid) กรดพาราควมาริก (paracumalic acid) กรดโพรโตแคเทคัวิก (protocatechuic acid) กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ (flavonoid and derivatives) เอสเทอร์ของกรดแกลลิก (ester of gallic acid) ลิกแนน (lignan) คูมาริน (coumarine) และฟลาโวน (flavone) เป็นต้น ซึ่งสามารถพบได้ในทุกส่วนของพืช (Shahidi, 1997) สามารถละลายได้ในน้ำและตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ วิธีวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตริก (spectrophotometric assay) วิธีการไตเตรท (titration method) วิธีการทางโครมาโตกราฟี (chromatography method) เป็นต้น (Walter and Purcell, 1979)

ถ้าน้ำมันมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นส่วนประกอบจะทำให้เกิดการหืนช้าลง เช่น การใช้สารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากเปลือกมันฝรั่งเป็นวัตถุกั้นหืนในน้ำมันทานตะวัน พบว่าสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้ใกล้เคียงกับบีเอชเอ (Rodriguez de Sotillo *et al.*, 1994) โดยสารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพกันหืนแตกต่างกัน โดยสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลมากกว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่า เช่น กรดแกลลิกจะมีประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกั้นหืนดีกว่ากรดโพรโตแคเทคัวิก (protocatechuic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกเหมือนกัน เนื่องจากกรดแกลลิกมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลมากกว่า (Cuppert *et al.*, 1997) สารประกอบฟีนอลิกในพืชบางตัว มีประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกั้นหืนดีกว่าสารวัตถุกั้นหืนสังเคราะห์ พบว่ากรดคลอโรจีนิกที่พบในน้ำมันข้าวโพด มีประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกั้นหืนได้ดีกว่ากรดโพรพิลแกลเลตที่เป็นวัตถุกั้นหืนสังเคราะห์ (Pratt, 1996) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกันหื่นของสารประกอบฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำมันข้าวโพด

สารประกอบฟีนอลิก	เวลา (นาทีก) ที่น้ำมันข้าวโพดมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มถึง 50 มิลลิอิกวิวาเลนต่อกิโลกรัมน้ำมัน
กรดกลูโรจีนิก	505
กรดแคเฟอิก	495
กรดควินิก	105
โพรพิลแกลเลต	435
กรดพาราควาริก	120

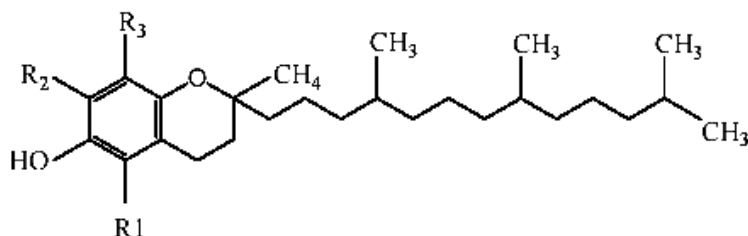
ที่มา: ดัดแปลงจาก Pratt (1996)

6. วิตามินอี (vitamin E)

วิตามินอีจัดเป็นแอลกอฮอล์ชนิดที่ไม่อิ่มตัวซึ่งละลายได้ดีในน้ำมัน ดังนั้นในการสกัดน้ำมันจะมีวิตามินอีละลายปนออกมาด้วย วิตามินอีแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ โทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไทรอินอล (tocotrienol) มีโครงสร้างเคมีดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ วิตามินอีทั้งสองกลุ่มประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (benzene ring) วงแหวนของกลุ่มอะโรมาติก (aromatic ring) และสายข้างที่เป็น isoprenoid โดยสายข้างในวิตามินทั้งสองกลุ่มจะแตกต่างกัน วิตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอลมีสายข้างที่เป็น isoprenoid เป็นพวงสารประกอบอิ่มตัว ส่วนของโทโคไทรอินอลมีสายข้างที่เป็น isoprenoid เป็นสารประกอบไม่อิ่มตัว

วิตามินอีแต่ละกลุ่มมีคุณสมบัติเป็นวิตามินได้ 4 ชนิด คือ α β γ และ δ ซึ่งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันในจำนวนและตำแหน่งของหมู่ CH_3 ที่ต่ออยู่กับวงแหวนเบนซีน (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996) แอลฟา - โทโคฟีรอล (α - tocopherol) เป็นวิตามินอีชนิดที่สามารถต้านการหื่นได้ดีที่สุด ส่วนของสายข้าง isoprenoid และ วงแหวนของกลุ่มอะโรมาติกจะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการเกิดออกซิเดชันให้กับวิตามิน ส่วนที่เป็นวงแหวนเบนซีนเป็นตัวคอยจับกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกิดขึ้น ปฏิกิริยาถูกโซ่จึงเกิดไม่ได้ทำให้สามารถยับยั้งการหื่นได้ โทโคฟีรอลมีความคงทนต่อความร้อนและกรด แต่จะเสียสภาพการทำงานเมื่อถูกแสงแดดและออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีความสมบัติพิเศษ คือ เป็นสารป้องกันออกซิเดชันของสารอื่น เช่น วิตามินเอ และแคโรทีน (Comb, 1992) โดยวิตามินจะจับกับออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาและอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น

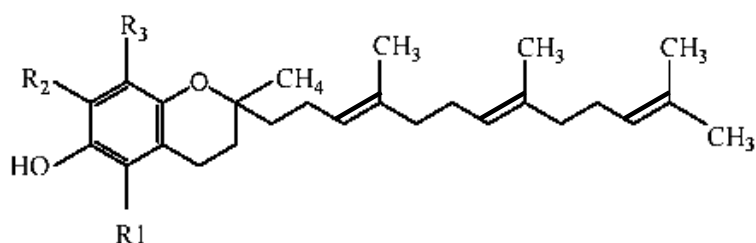
เริ่มต้น ได้เป็นสารที่คงตัวและเป็นอนุพลอิสระของวัตถุกั้นหินที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา จึงยับยั้งขั้นตอนของปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปได้ (Schuler, 1990)



หมู่อะตอมที่ตำแหน่งต่าง ๆ			ชนิดของวิตามินอี
R ₁	R ₂	R ₃	
CH ₃	CH ₃	CH ₃	α - โทโคฟีรอล
CH ₃	H	CH ₃	β - โทโคฟีรอล
H	CH ₃	CH ₃	γ - โทโคฟีรอล
H	H	CH ₃	δ - โทโคฟีรอล

ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของวิตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอล (tocopherol)

ที่มา: Rajalakshmi and Narasimhan (1996)



หมู่อะตอมที่ตำแหน่งต่าง ๆ			ชนิดของวิตามินอี
R ₁	R ₂	R ₃	
CH ₃	CH ₃	CH ₃	α - โทโคไทรอินอล
CH ₃	H	CH ₃	β - โทโคไทรอินอล
H	CH ₃	CH ₃	γ - โทโคไทรอินอล
H	H	CH ₃	δ - โทโคไทรอินอล

ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของวิตามินอีกลุ่มโทโคไทรอินอล (tocotrienol)

ที่มา: Rajalakshmi and Narasimhan (1996)

วิตามินอีธรรมชาติพบได้ในพืชเท่านั้น เช่น น้ำมันทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันข้าวโพด ในน้ำมันแต่ละชนิดจะมีปริมาณวิตามินอีแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณวิตามินอีรวมที่พบในน้ำมันชนิดต่าง ๆ

น้ำมัน	วิตามินอีรวม (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)
น้ำมันทานตะวัน	250 - 490
น้ำมันถั่วลิสง	560 - 1600
น้ำมันปาล์ม	330 - 730
น้ำมันข้าวโพด	530 - 1620

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chow (1985)

ลักษณะทั่วไปของทานตะวัน

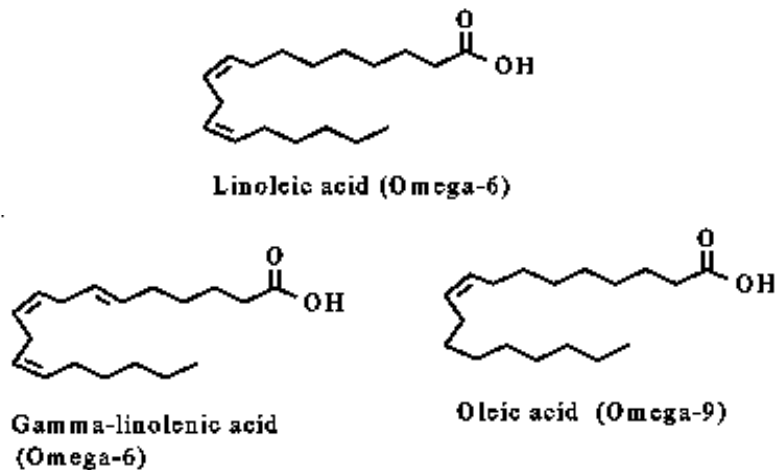
ทานตะวันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annuus* คำว่า *Helianthus* มาจากคำว่า helios ที่แปลว่าดวงอาทิตย์ ดวงตะวัน และ anthus ที่แปลว่าดอกไม้ มีชื่อวงศ์ว่า Compositae ชื่อสามัญ คือ Common Sunflower ทานตะวันสามารถพบได้ทั่วไปในอเมริกาเหนือ ดอกมีสีเหลือง ขนาดใหญ่กว่าดอกกรักรเป็นทีสะดุดตามากบางทีดอกจะใหญ่กว่าลำต้น นิยมปลูกเป็นแปลง เป็นไม้ที่ปลูกง่ายและโตเร็ว เมื่อออกดอกแล้วดอกจะหันไปทางทิศตะวันออกไม่หันไปทางทิศอื่นเป็นการทานตะวัน จึงได้ชื่อว่าดอกทานตะวัน (San Juan and Villamide, 2001)

เนื้อในเมล็ดทานตะวันจากส่วนดอกทานตะวันมีเส้นใยหยาบ โปรตีน และน้ำมันสูง เนื้อในเมล็ดทานตะวันสามารถบริโภคได้โดยตรงหลังจากทำให้สุกแล้ว และสามารถนำเนื้อในเมล็ดทานตะวันมาแปรรูปเป็นน้ำมัน พบว่าเมล็ดทานตะวัน มีความชื้น $6.10 \pm 1\%$ ไขมัน $38.40 \pm 1\%$ โปรตีน $23.5 \pm 1\%$ เส้นใยหยาบ $13.3 \pm 1\%$ และ เถ้า $3.59 \pm 0.1\%$ (Hagenmaier, 1974)

โปรตีนของเนื้อในเมล็ดทานตะวัน จะมีกรดอะมิโนไลซีนและกรดอะมิโนทรีโอนีนต่ำมาก เมื่อเทียบกับโปรตีนในกากถั่วเหลือง แต่จะมีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนและกรดอะมิโนอาร์จินีนสูง เมล็ดทานตะวันมีน้ำมัน 35 - 45% ขององค์ประกอบทั้งหมด และเป็นน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว 90% (ไพจิตร, 2530) กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบในน้ำมันทานตะวัน คือ กรดลิโนเลอิก

(linoleic acid) 68.2% กรดแกมมา - ลิโนเลนิก (gamma - linolenic acid) 0.5% และ กรดโอเลอิก (oleic acid) 18.6% มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าในน้ำมันทานตะวันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันถั่วลิสง โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มากที่สุด คือ กรดลิโนเลอิก (White, 1992) ดังแสดงในตารางที่ 4

การรับประทานน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงน้ำมันทานตะวันเป็นประจำ จะช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ อาการความดันโลหิตสูง และอาการผอมร่าง เป็นต้น (Marvey, 2003) นอกจากนี้ในน้ำมันทานตะวันยังประกอบด้วย conjugated linoleic acid (CLA) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (polyunsaturate) ที่ต่างจากกรดลิโนเลอิก โดยมีตำแหน่งของพันธะคู่ที่ต่างกัน CLA พบได้ในเมล็ดดอกทานตะวัน ผลิตภัณฑ์นม เนื้อวัว เนื้อไก่ ไข่ไก่ และน้ำมันข้าวโพด พบว่า CLA สามารถป้องกันมะเร็งที่เต้านม ต่อมลูกหมาก ลำไส้ใหญ่ ปอด ผิวหนัง และกระเพาะอาหาร (Cesano *et al.*, 1998) แบคทีเรียในลำไส้สามารถเปลี่ยน CLA ให้เป็นกรดลิโนเลอิกได้ แต่การเสริมกรดลิโนเลอิกเข้าไปไม่ได้ทำให้ระดับ CLA ในเลือดเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องได้รับเข้าไปในรูปแบบ CLA โดยตรง (Herbel *et al.*, 1998)



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ในน้ำมันทานตะวัน
ที่มา : Marvey (2003)

ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่พบในน้ำมันชนิดต่าง ๆ

กรดไขมัน (%)	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันถั่วลิสง	น้ำมันทานตะวัน
กรดไมริสติก	0.1	0.1	0.2
กรดปาล์มมิก	11.0	11.6	6.8
กรดสเตียริก	4.0	3.1	4.7
กรดโอเลอิก	23.4	46.5	18.6
กรดลิโนเลอิก	53.2	31.4	68.2
กรดลิโนเลนิก	7.8	-	0.5
กรดอะแรคซิก	0.3	1.5	0.4

ที่มา: ดัดแปลงจาก White (1992)

น้ำมันทานตะวันประกอบด้วยวิตามินหลายชนิด ที่สำคัญ คือ โปรวิตามินเอหรือแคโรทีน และวิตามินอี โดยวิตามินอีจะทำหน้าที่เป็นวัตถุกันหืนจึงทำให้เกิดกลิ่นหืนเนื่องจากออกซิเจนได้เข้า (Deman, 1990)

การแยกน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน

เมล็ดพืชน้ำมันที่จะนำมาแยกน้ำมันควรมีอายุการเก็บรักษาไม่นานนัก เพราะระยะเวลาที่เก็บรักษามีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น ค่าไอโอดีน ค่ากรดไขมันอิสระ และปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ด

Bax *et al.* (2004) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเมล็ดทานตะวันก่อนเก็บรักษา และเวลาในการเก็บรักษา ต่อองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดทานตะวัน โดยนำเมล็ดทานตะวันมาอบแห้งในตู้อบแห้งแบบลมร้อน ที่อัตราเร็วลม 0.28 - 0.31 เมตรต่อวินาที ใช้ความร้อนที่ระดับต่าง ๆ คือ 25 40 60 75 และ 90°C จนกระทั่งเมล็ดทานตะวันมีความชื้นอยู่ระหว่าง 7.3 - 7.6% หลังจากนั้นนำเมล็ดทานตะวันที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาเก็บรักษาในไซโลขนาดทดลอง (laboratory - scale silos) เป็นเวลา 8 เดือน โดยให้มีการไหลเวียนของอากาศภายในเหมือนกับไซโลที่ใช้งานจริง พบว่าอุณหภูมิในการอบมีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ด พบว่าเมื่อสิ้นสุดการอบ กรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.53% เป็น 1.22% เมื่อเพิ่ม

อุณหภูมิในการอบจาก 25°ซ เป็น 90°ซ และอบแห้งที่ 40°ซ และ 90°ซ ทำให้ค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น 37.60% และ 128.4% เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการอบที่ 25°ซ ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10.70 เป็น 23.3 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบจาก 25°ซ เป็น 90°ซ และอบแห้งที่ 40°ซ และ 90°ซ ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น 1.12 และ 118.3 เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการอบที่ 25°ซ และน้ำมันมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 54.90 - 56.40% เห็นได้ว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูง ทำให้เมล็ดทานตะวันมีค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำมันลดลง นอกจากอุณหภูมิการอบที่มีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์แล้ว ระยะเวลาในการเก็บรักษาก็มีผลเช่นกัน พบว่าค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์มีค่ามากขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากัน เมล็ดทานตะวันที่อบที่ 25°ซ มีค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นต่ำกว่า เมล็ดทานตะวันที่อบที่ 90°ซ คือ 0.55 1.18 และ 10.06 23.55 ทำให้มีค่าสุดท้ายต่ำกว่า คือ 0.75 1.55 และ 16.15 27.66 ตามลำดับ เห็นได้ว่าทั้งอุณหภูมิการอบและระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของเมล็ดทานตะวัน แต่อิทธิพลของอุณหภูมิมิมีผลน้อยกว่าอิทธิพลของเวลา

การแยกน้ำมันออกจากเมล็ดพืชน้ำมันสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้ คือ การใช้แรงบีบอัดและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (extraction) แต่ยังมีวิธีการแยกน้ำมันออกจากเมล็ดพืชน้ำมันแบบอื่น เช่น การแยกน้ำมันโดยการชะล้างด้วยน้ำ (leaching) เป็นต้น

กระบวนการแยกน้ำมันที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำมันมีคุณภาพแตกต่างกันด้วย น้ำมันที่ได้จากการแยกน้ำมันด้วยการชะล้างด้วยน้ำจะมีคุณสมบัติทางเคมีดีกว่า เช่น มีค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่า เนื่องจากขั้นตอนต่าง ๆ นั้นไม่รุนแรง Abdulkarim *et al.* (2005) เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันจาก *Moringa oleifera* ที่ได้จากการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายกับน้ำมันที่ได้จากการแยกด้วยการใช้น้ำ พบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลาย มีค่ากรดไขมันอิสระมากกว่าน้ำมันที่ได้จากการแยกด้วยการใช้น้ำ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 2.48 และ 1.13 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานของ Kim and Yoon (1990) ที่เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลาย กับน้ำมันที่ได้จากการแยกด้วยการใช้น้ำ พบว่าน้ำมันชนิดแรกมีค่ากรดไขมันอิสระมากกว่าน้ำมันชนิดหลัง คือ 0.50% และ 0.40% ตามลำดับ ส่วน Bocevska *et al.* (1993) เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันข้าวโพดที่ได้จากการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลาย กับน้ำมันที่ได้จากการแยกด้วยการใช้น้ำ พบว่าน้ำมันชนิดแรกมีค่าเปอร์ออกไซด์มากกว่าน้ำมันชนิดหลัง คือ 1.10 และ 0.00 ตามลำดับ

การแยกน้ำมันด้วยการบีบอัด

การแยกน้ำมันด้วยการบีบอัด ต้องทำความสะอาดเมล็ดพืชน้ำมันเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปนต่าง ๆ เช่น เศษดิน ก้อนหิน และเศษเปลือกออกก่อน อาจใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรง (screening) หรือใช้ลมเป่า (aspiration cleaning) จากนั้นนำเมล็ดพืชที่ทำความสะอาดขนาดด้วยการบดหรือทำให้เป็นชิ้นเล็กเพื่อให้การบีบน้ำมันออกมาได้ง่ายขึ้น การบดเมล็ดพืชให้ละเอียดทำให้สามารถบีบน้ำมันได้ง่ายขึ้น แรงบีบอัดที่ให้แก่นื้อเยื่อของวัตถุดิบจะทำให้ผนังเซลล์แตกบีบน้ำมันออกมาได้ การแยกน้ำมันด้วยการบีบอัดสามารถแบ่งเป็นการบีบอัดแบบต่อเนื่องและการบีบอัดแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นการบีบอัดที่ไม่เกิดความร้อนหรือไม่ใช้ความร้อน (cold pressing) หรือการบีบอัดที่เกิดความร้อนหรือใช้ความร้อน (hot pressing) (United Nations Development Fund for Women, 1993)

การบีบอัดที่ไม่เกิดความร้อน นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันอยู่สูง เช่น ถั่วลิสงและมะพร้าว เป็นต้น เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบมีปริมาณสูง การใช้แรงบีบอัดเพียงอย่างเดียวจึงเพียงพอที่จะทำให้สามารถบีบน้ำมันออกมาได้ การบีบอัดที่เกิดความร้อนจากการบีบอัด หรือมีการให้ความร้อนนั้นจะมีประสิทธิภาพดีกว่า เนื่องจากความร้อนช่วยให้น้ำมันแยกตัวออกจากวัตถุดิบได้ง่ายขึ้น สามารถนำกากวัตถุดิบที่เหลือจากการบีบอัดที่ไม่เกิดความร้อน มาแยกน้ำมันต่อโดยใช้การบีบอัดที่เกิดหรือใช้ความร้อนได้ (Parekh, 1958)

เครื่องบีบน้ำมันสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดตามกลไกการทำงาน คือ เครื่องบีบน้ำมันแบบไม่ต่อเนื่อง และเครื่องบีบน้ำมันแบบต่อเนื่อง เครื่องบีบน้ำมันด้วยแรงอัดสูงแบบไฮดรอลิกมีการทำงานเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง เครื่องบีบอัดชนิดนี้มีหลายขนาด โดยเครื่องที่มีขนาดใหญ่สามารถบีบน้ำมันออกจากวัตถุดิบได้ครั้งละมาก ๆ คือ สามารถจุวัตถุดิบได้ถึง 2 ตัน ตัวเครื่องบีบอัดประกอบไปด้วยภาชนะโลหะทรงกระบอกในแนวตั้ง ซึ่งมีรูเล็ก ๆ หรืออาจเป็นซี่กรง วัตถุดิบจะถูกแบ่งบรรจุอยู่ในถุงผ้า มีแผ่นเพลทคั่นระหว่างถุงผ้าที่วางซ้อนกัน เมื่อเพิ่มแรงกดนื้อเยื่อของวัตถุดิบจะถูกทำลายทำให้ผนังเซลล์แตก น้ำมันที่มีอยู่จะไหลออกมาตามร่องเพลทแต่ละเพลท ผ่านรูหรือซี่กรงและมารวมกันที่ฐานของเครื่องอัด (วิไล, 2543)

เครื่องบีบน้ำมันชนิดที่สอง คือ เครื่องบีบน้ำมันแบบเกลียวซึ่งมีการทำงานแบบต่อเนื่อง โดยตัวเครื่องประกอบด้วยภาชนะโลหะทรงกระบอก (บาร์เรล) วางในแนวนอน ภายในมีแกนหมุนที่เป็นเกลียว ความสูงของร่องเกลียวจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของบาร์เรล เพื่อเพิ่มความดันต่อวัตถุดิบที่ถูกลำเลียงไปตามบาร์เรล รอบผนังบาร์เรลจะมีช่องเปิดเพื่อให้ของเหลวไหลออกไปได้ ส่วนกาก

ของแข็ง (cake) จะถูกดันออกตรงช่องทางออกของกากตอนปลายบาร์เรล การควบคุมความดันในบาร์เรลทำได้โดยการปรับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกของกาก เครื่องบางชนิดอาจติดตั้งเครื่องทำความร้อนกับตัวเครื่องเพื่อเพิ่มผลผลิตในการสกัดน้ำมัน (วิลโล, 2543)

กากที่ได้จากการแยกน้ำมันด้วยการบีบอัด จะมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากประมาณ 3 - 9% เนื่องจากกากจะดูดซับน้ำมันบางส่วนไว้ ปริมาณน้ำมันในกากจะมีมากหรือน้อยจะขึ้นกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ ถ้าวัตถุดิบมีความชื้นเริ่มต้นสูงจะทำให้เหลือน้ำมันในกากมาก ถ้าป้อนวัตถุดิบให้ผ่านเครื่องบีบซ้ำวัตถุดิบจะได้รับแรงบีบมากขึ้น น้ำมันที่มีอยู่ไหลออกมาได้มาก กากที่มีน้ำมันเหลืออยู่นี้จะถูกนำไปสกัดน้ำมันที่เหลือด้วยการใช้ตัวทำละลาย หรือจำหน่ายให้กับโรงงานทำอาหารสัตว์ (Swern, 1964)

การสกัดน้ำมันด้วยการใช้ตัวทำละลาย

การสกัดน้ำมันด้วยการใช้ตัวทำละลาย เป็นวิธีที่นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ หรือใช้สกัดน้ำมันจากกากวัตถุดิบที่ได้จากการแยกน้ำมันด้วยการบีบอัด การสกัดน้ำมันด้วยการใช้ตัวทำละลายจะให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าวิธีบีบอัดแต่จะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่า เพราะระบบการทำงานต้องมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เพิ่มเติม เช่น ถังสกัด เครื่องกลั่นแยกตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายทั้งการลงทุนและการดูแลรักษา และเสียพลังงานที่ใช้ในกระบวนการมากกว่า นอกจากนี้ตัวทำละลายมีราคาแพง แม้ว่าจะสามารถกลั่นแยกกลับมาใช้ใหม่แต่จะมีบางส่วนที่ระเหยไป อีกทั้งตัวทำละลายดังกล่าวสามารถติดไฟได้ง่ายจึงต้องระมัดระวังในการใช้งาน (Parekh, 1958)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันด้วยการใช้ตัวทำละลาย คือ ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ตัวทำละลายปริมาณมากจะสกัดน้ำมันออกมาได้มาก แต่ต้องใช้เวลาในการกลั่นแยกตัวทำละลายออกนานขึ้น และชนิดของตัวทำละลายที่เลือกใช้ ต้องมีความเหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช และไม่เป็นพิษต่อร่างกาย นิยมใช้สารละลายเฮกเซนที่มีจุดเดือด 67 - 70°C เป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้สามารถใช้สารผสมชนิดอื่น เช่น การใช้สารละลายผสมระหว่างอะซิโตนกับน้ำ พบว่าหากมีน้ำผสมอยู่น้อยกว่า 10% จะทำให้น้ำมันสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น (Johnson and Lusas, 1983) การสกัดน้ำมันด้วยการใช้ตัวทำละลายมักใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงประมาณ 60°C เพื่อช่วยให้น้ำมันละลายออกมาจากเมล็ดพืชได้ง่ายขึ้น วัตถุดิบที่นำมาสกัดน้ำมันด้วยการใช้ตัวทำละลายจะต้องลดขนาดให้เล็กลง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกันระหว่างตัวทำละลายและวัตถุดิบมากขึ้น ตัวทำละลายจะแพร่กระจายในวัตถุดิบและละลายน้ำมันออกมา แต่ถ้าบดให้เมล็ดพืชละเอียดเกินไปและใช้ระบบ

ให้ตัวทำละลายไหลผ่านชั้นของวัตถุดิบ จะทำให้ตัวทำละลายไหลผ่านได้ยากทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันลดลง การสกัดน้ำมันควรใช้ระยะเวลาที่นานพอ เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถละลายน้ำมันออกมาได้มากที่สุด โดยระยะเวลาที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบ (Parekh, 1958)

หลังการสกัดได้น้ำมันละลายอยู่ในตัวทำละลาย สามารถแยกน้ำมันและตัวทำละลายออกจากกันได้ โดยใช้หลักการที่น้ำมันและตัวทำละลายมีจุดเดือดที่แตกต่างกัน เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายเล็กน้อย และทำภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อลดจุดเดือดของตัวทำละลายลง ตัวทำละลายจะระเหยออกไปเหลือแต่น้ำมันที่ต้องการ และสามารถควบแน่นตัวทำละลายที่ระเหยกลับมาใช้งานอีก (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543)

น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นน้ำมันดิบ (crude oil) ที่มักมีสารประกอบชนิดอื่นปนอยู่ เช่น ฟอสโฟลิปิด รงควัตถุต่าง ๆ คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น จึงต้องนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกรรมวิธีให้เป็นน้ำมันบริโภค โดยมีขั้นตอนดังนี้ (Alton, 1996)

1. การล้างน้ำมันด้วยน้ำ (degumming)

นอกจากไตรกลีเซอไรด์น้ำมันที่สกัดได้ยังประกอบด้วยสารประกอบอื่น ๆ เช่น ฟอสโฟลิปิด ไกลโคลิปิด เลซิธิน และสเตอรอล เป็นต้น สารประกอบบางตัวไม่ละลายน้ำ เช่น ไกลโคลิปิด และสเตอรอล สารประกอบบางตัวละลายน้ำได้ทำให้สามารถกำจัดออกด้วยการล้างน้ำมันด้วยน้ำ เช่น ฟอสโฟลิปิด และเลซิธิน ถ้าไม่กำจัดสารประกอบที่สามารถกำจัดออกได้จะให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเมื่อเก็บไว้นานขึ้น และทำให้เกิดฟองเมื่อใช้ที่อุณหภูมิสูง โดยน้ำมันที่ดีต้องไม่มีสารประกอบอื่นนอกจากไตรกลีเซอไรด์ปนอยู่ ยกเว้นวิตามินอีซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านทานการเกิดออกซิเดชัน การล้างน้ำมันด้วยน้ำจะทำให้สารประกอบที่ละลายได้ในน้ำ แยกตัวไปอยู่ในส่วนน้ำ และส่วนที่แยกออกจากร้ำมันนี้เรียกว่ากัม (gums) การล้างน้ำมันด้วยน้ำอาจทำ 2 - 3 ครั้ง (Alton, 1996)

2. การแยกกรดไขมันอิสระหรือการทำให้บริสุทธิ์ (refining)

น้ำมันดิบมีกรดไขมันอิสระปนอยู่จึงต้องแยกกรดไขมันอิสระออก อาจใช้วิธีการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ด่าง (alkali refining) โดยใช้สารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นประมาณ 10 - 15% เติมสารละลายด่างลงไปน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 75 - 85°F พร้อมทั้งกวนผสมตลอดเวลาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นเพิ่มความร้อนเป็น 130 - 185°F ปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายด่างที่ใช้จะขึ้นกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายด่างและกรดไขมันได้สบู่ โดยน้ำสบู่จะแยกชั้นอยู่ด้านล่างเรียกว่า foots หรือ soapstock จากนั้นแยกสบู่ที่เกิดขึ้นโดยอาจตั้งทิ้งไว้หรือใช้เครื่องเหวี่ยงแยก น้ำมันที่ได้อาจมีสบู่ปนอยู่จึงต้องนำมาล้างด้วยน้ำร้อนอีกครั้ง แล้วแยกน้ำมันออกโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยก แล้วระเหยน้ำที่เหลือในน้ำมันจนหมดด้วยการใช้ระบบสุญญากาศเพื่อลดจุดเดือดของน้ำ ทำให้น้ำมันที่ได้ออกมาคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนที่ใช้มากนัก นอกจากนี้อาจใช้น้ำผ่านเข้าไปในน้ำมันร้อน (steam refining) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง กรดไขมันอิสระที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า 14 อะตอมจะระเหยออกไป และเป็นการกำจัดกลิ่นพร้อมกันไปด้วย (Alton, 1996)

3. การฟอกสี (bleaching)

สีของน้ำมันเกิดจากรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ที่ปนอยู่ในน้ำมัน การกำจัดรงควัตถุออกจะทำให้น้ำมันมีสีดีขึ้น วิธีกำจัดรงควัตถุมีหลายวิธี เช่น การใช้สารฟอกสี (bleaching agent) เช่น activated charcoal หรือ acid processed bleaching clay เป็นต้น โดยใช้สารฟอกสีในน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 160 - 180°F พร้อมกวนผสมตลอดเวลาและทำให้น้ำมันร้อนขึ้นเป็น 220 - 240°F นาน 20 - 30 นาที หลังจากนั้นกรองแยกสารฟอกสีออก น้ำมันที่ได้จะมีสีอ่อนลง โดยรงควัตถุจะถูกแยกออกมาพร้อมกับสารฟอกสี (Alton, 1996)

4. การกำจัดกลิ่น (deodorization)

กลิ่นในน้ำมันเกิดจากกรดไขมันอิสระ อัลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งกลิ่นที่เกิดขึ้นนี้ไม่จำเป็นต้องกำจัดออก การใช้การกลั่นด้วยไอน้ำกำจัดกลิ่นเป็นการเป่าไอน้ำร้อนลงไปน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 380 - 475°F ภายในภาชนะปิดภายใต้ความดัน 6 - 12 มิลลิเมตรปรอท สารให้กลิ่นที่ระเหยได้จะระเหยและถูกแยกออก ส่วนน้ำมันจะถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยไหลผ่านท่อน้ำ

เย็น การใช้ความร้อนสูงในระดับนี้สามารถทำลายรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ได้ ทำให้น้ำมันที่ได้มีสีอ่อนลง (Alton, 1996; Swern, 1964)

การแยกน้ำมันโดยการชะล้างด้วยน้ำ

การแยกน้ำมันแบบทั่วไป เช่น การแยกด้วยแรงอัดและการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้ต้องผ่านกระบวนการที่รุนแรง สารอาหารที่มีอยู่อาจสูญหายไปบางส่วน วิธีการแยกน้ำมันโดยใช้น้ำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยรักษาสารอาหารที่มีอยู่ให้มากที่สุด (Lanzani *et al.*, 1991) การแยกน้ำมันด้วยการใช้น้ำจะต้องนำวัตถุดิบมาทำความสะอาด เช่น แยกเศษเปลือก เศษหิน และเศษดินออก หลังจากนั้นนำไปบดลดขนาด เพื่อทำลายเซลล์ของเมล็ดพืชทำให้น้ำมันที่มีอยู่ภายในเป็นอิสระ และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้น้ำและน้ำมันสัมผัสกันได้มากขึ้น เมื่อผสมน้ำลงไปในระบบน้ำสามารถชะล้างน้ำมันซึ่งเป็นของเหลวออกมาได้ แต่น้ำและน้ำมันจะไม่ละลายซึ่งกันและกัน จึงรวมตัวอยู่ในรูปของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เนื่องจากมีโปรตีนทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ผิวหน้าอนุภาคน้ำมัน จากนั้นจึงแยกน้ำมันออกด้วยการทำลายระบบอิมัลชันที่เกิดขึ้นด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การทำให้แข็งตัวแล้วหลอมละลาย การเหวี่ยงแยก และการใช้เทคนิคอื่นเวอร์ชัน เป็นต้น การแยกน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันโดยใช้น้ำ มีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การบดลดขนาด (grinding)

นำวัตถุดิบที่ต้องการแยกน้ำมันมาลดขนาด เพื่อทำลายเซลล์ของเมล็ดพืชและเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้สามารถชะล้างแยกน้ำมันและโปรตีนออกมาได้ดีขึ้น การบดลดขนาดมี 2 รูปแบบ คือ การบดแบบแห้ง และการบดแบบเปียก การบดแบบแห้งจะนำวัตถุดิบมาบดด้วยเครื่องบดผสมก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับน้ำ ส่วนการบดแบบเปียกจะนำวัตถุดิบมาผสมกับน้ำก่อน แล้วจึงนำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดผสม การเลือกจะใช้วิธีการบดลดขนาดแบบใดส่วนใหญ่มักขึ้นกับจุดประสงค์ของผู้ทดลอง

Rhee *et al.* (1972) ศึกษาการแยกน้ำมันออกจากเมล็ดถั่วลิสงโดยใช้น้ำ โดยใช้วิธีการบดแบบแห้ง เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคถั่วลิสงต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ เริ่มจากบดเมล็ดถั่วลิสงแล้วนำไปร่อนแยกขนาดเป็น 3 ขนาด คือ 0.01 0.03 และ 0.06 นิ้ว หลังจากนั้นนำไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 6 ปรับค่าพีเอชเป็น 4.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล แล้วปรับอุณหภูมิของของผสมเป็น 60°C ควบคุมพีเอชและอุณหภูมิของของผสมให้คงที่

นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำของผสมไปเหวี่ยงแยกของแข็งที่ความเร็ว 4000xg นาน 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นำสารสกัดที่แยกได้ไปทดสอบหาปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ พบว่าเมล็ดถั่วลิสงที่บดลดขนาดให้มีขนาดเท่ากับ 0.01 นิ้ว จะให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากที่สุด คือ $97.9 \pm 0.5\%$ ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในถั่วลิสง เมื่อเทียบกับขนาด 0.03 นิ้วและ 0.06 นิ้ว ซึ่งให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ $91.3 \pm 0.7\%$ และ $73.2 \pm 1.2\%$ ตามลำดับ

Kim (1989) ใช้วิธีการบดแบบเปียก เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาที่ใช้บดต่อปริมาณน้ำมันจากเมล็ดเนื้อในปาล์มที่สกัดได้ โดยใช้เมล็ดเนื้อในปาล์ม 50 กรัมผสมกับน้ำ 200 มิลลิลิตร บดที่ระยะเวลาต่างกัน คือ 5 15 และ 20 นาที ซึ่งการใช้ระยะเวลาบดที่นานขึ้นจะส่งผลให้อนุภาคของเมล็ดเนื้อในปาล์มมีขนาดเล็กลง ควบคุมอุณหภูมิของของผสมที่ 45°C ที่เอช 7.0 นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำของผสมดังกล่าวไปเหวี่ยงแยกของแข็งที่ความเร็ว 10000xg นาน 20 นาที นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ พบว่าการใช้เวลาบดนาน 20 นาทีจะให้ปริมาณน้ำมันในสารสกัดมากที่สุด คือ $84.6 \pm 1.2\%$ ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดเนื้อในปาล์ม เมื่อเทียบกับการใช้เวลาบดที่ 5 และ 15 นาที ซึ่งให้ปริมาณน้ำมัน $71.9 \pm 0.5\%$ และ $74.8 \pm 1.4\%$ ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดเนื้อในปาล์ม ตามลำดับ

2. การชะล้าง (leaching)

การชะล้างเป็นการสกัดในลักษณะที่ใช้น้ำชะล้างน้ำมันออกมาจากวัตถุดิบที่ลดขนาดแล้ว ที่มีลักษณะแตกต่างจากการสกัดตามปกติ คือ น้ำมันไม่ละลายในน้ำที่ใช้ สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้เรียกว่าสารสกัด สารสกัดที่ได้มีลักษณะขุ่นขาวนวล เป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ซึ่งประกอบด้วยน้ำมัน โปรตีน และน้ำ (Niranjan *et al.*, 1996) สารสกัดที่ได้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ เช่น น้ำกะทิเป็นสารสกัดที่มีลักษณะขุ่นและมีสีขาวนวล ได้มาจากการนำเนื้อมะพร้าวชุดผสมกับน้ำและนวดผสม การนวดผสมจะทำให้น้ำมันและโปรตีนถูกชะล้างออกมาได้มากขึ้น (สุคนธ์ชื่น, 2542; Che Man *et al.*, 1996) ส่วนสารสกัดที่ได้จากการนำผลมะกอกอ่อนมาบดผสมกับน้ำและนวดผสม สารสกัดที่ได้จะมีสีเขียวเนื่องจากมีเม็ดสีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบเริ่มต้น (Giovacchino *et al.*, 1994)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด คือ อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบ : น้ำ หากใช้อัตราส่วนของน้ำมากขึ้น จะทำให้สามารถชะล้างน้ำมันออกมาได้ดีขึ้น และการเพิ่มระยะเวลาในการสกัดที่นานขึ้น จะทำให้สามารถชะล้างน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดพืชน้ำมันที่ลดขนาดแล้วออกมาได้มากขึ้น

รวมถึงการเขย่าจะทำให้ น้ำและเมล็ดพืชน้ำมันที่บดลดขนาดแล้วเกิดการเคลื่อนที่ตลอดเวลาและสัมผัสกันมากขึ้น จึงจะล้างน้ำมันออกมาได้ดีขึ้น เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันโดยใช้น้ำมี 2 วิธี คือ การปรับค่าพีเอช และการใช้เอนไซม์

2.1 การปรับค่าพีเอช

ค่าพีเอชที่ใช้ในระหว่างการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดมีค่าพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดแตกต่างกัน จากการทดลองของ Rhee *et al.* (1972) ซึ่งใช้เทคนิคการปรับค่าพีเอชในการสกัดน้ำมันออกมาจากเมล็ดถั่วลิสง พบว่าที่ค่าพีเอช 4.5 ให้น้ำมันออกมาในสารสกัดมากที่สุด คือ $98.7 \pm 0.5\%$ ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในถั่วลิสง

Hagenmaier (1974) ได้ทดลองแยกโปรตีนและน้ำมันออกจากเมล็ดทานตะวันโดยใช้ น้ำ เริ่มจากนำเมล็ดทานตะวันมาลดขนาดเป็นขนาด 20 เมช แล้วผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 10 และผสมโซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite) 0.2% เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสี ปรับพีเอชเป็น 3 - 10 ควบคุมอุณหภูมิของของผสมที่ 50°ซ นาน 45 นาที พร้อมทั้งกวนด้วยเครื่องกวนผสม (magnetic stirrer) หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงแยก พบว่าที่ค่าพีเอช 10 ได้ปริมาณน้ำมันในสารสกัดมากที่สุด คือ 58% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวัน

2.2 การใช้เอนไซม์

การใช้เอนไซม์เป็นเทคนิคการสกัดน้ำมันอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ การใช้เอนไซม์จะทำให้ น้ำมันออกมาในสารสกัดมากขึ้น เอนไซม์ที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดมักเป็นเอนไซม์ในกลุ่มไกลโคไซด์ไฮโดรเลส (Glycoside hydrolase) เช่น เอนไซม์เซลลูเลส เอนไซม์เพคตินเอส และเอนไซม์อะมัยเลส (Niranjan *et al.*, 1996) เอนไซม์จะปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันและโปรตีนให้ดีขึ้น โดยทำลายผนังเซลล์ของวัตถุดิบและโครงสร้างของโปรตีนเส้นใย ทำให้อนุภาคน้ำมันที่อยู่ภายในสามารถกระจายตัวออกมาในตัวทำละลายได้ (Christensen, 1989; Yoon *et al.*, 1991) อาจเลือกใช้เอนไซม์เพียงชนิดเดียวหรือใช้เอนไซม์หลายชนิดผสมกัน เอนไซม์แต่ละชนิดมีสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนี้ เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) มีพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานช่วง 5.0 - 6.0 ที่อุณหภูมิ 37°ซ เอนไซม์เฮมิเซลลูเลส (hemicellulase) มีพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานช่วง 5.0 - 6.0 ที่อุณหภูมิ 37°ซ เอนไซม์เพคตินเอส (pectinase) มีพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานช่วง 3.5 - 4.0 ที่อุณหภูมิ 20°ซ เอนไซม์อะมัยเลส (amylase) มีพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานช่วง 4.8 - 5.8 ที่อุณหภูมิ

60°ซ และเอนไซม์โปรติเอส (protease) มีพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานช่วง 6.0 - 8.0 ที่อุณหภูมิ 50°ซ (Bard and Sitohy, 1992)

Debrah and Ohta (1994) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิดที่มีผลต่อปริมาณน้ำมัน Shea ที่ได้ เมล็ด Shea เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่พบได้ทั่วไปในประเทศแอฟริกา ผลมีลักษณะกลมรีและมีเปลือกสีน้ำตาลเข้ม น้ำมัน Shea ที่ผลิตได้นิยมนำไปผลิตเนยแข็ง เริ่มจากนำเมล็ด Shea มาผสมน้ำในอัตราส่วน 1 : 4 แล้วนำมาบดด้วยเครื่องปั่นผสมนาน 5 นาที และนำไปให้ความร้อนในตู้อบที่ 100°ซ นาน 5 นาที เพื่อทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หลังจากนั้นเติมเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ 5 ชนิด คือ เอนไซม์ผสมเซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส (1 : 1) เอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส (α - amylase) เอนไซม์โปรติเอส เอนไซม์กลูคาเนส (glucanase) และเอนไซม์เพคตินเอส 500 ยูนิตต่อกรัม โดยมีการเพียงชนิดเดียวและเติมหลายชนิดผสมกัน เขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีและควบคุมอุณหภูมิที่ 50°ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำของผสมไปให้ความร้อนในตู้อบที่ 100°ซ นาน 3 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ แล้วเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 12300xg นาน 20 นาที พบว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกัน 3 ชนิด คือ เอนไซม์โปรติเอส เอนไซม์ผสมเซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส และเอนไซม์กลูคาเนส ให้น้ำมันออกมาในสารสกัดมากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้เอนไซม์ผสมเซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส เอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส เอนไซม์โปรติเอส เอนไซม์กลูคาเนส เอนไซม์เพคตินเอส เพียงชนิดเดียว คือ 74.1 63.9 62.0 59.4 59.2 และ 55.5% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่มีอยู่ในเมล็ด Shea เริ่มต้น ตามลำดับ

นอกจากการเลือกใช้วิธีการปรับค่าพีเอช หรือการใช้เอนไซม์ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันเพียงวิธีเดียว การใช้วิธีการปรับค่าพีเอชร่วมกับการใช้เอนไซม์ในการสกัดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันได้ดีขึ้น Sineiro *et al.* (1998) ทดลองแยกน้ำมันออกจากเมล็ดทานตะวันโดยใช้น้ำร่วมกับเอนไซม์ โดยนำเมล็ดทานตะวันที่มีขนาดระหว่าง 0.75 - 1.0 มิลลิเมตร ผสมกับซิเตรทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 4.8 ในอัตราส่วน 1 : 5 1 : 7.5 และ 1 : 10 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) แล้วเติมเอนไซม์เซลลูเลส (ชื่อทางการค้าคือ celluclast) 0.5 1.25 และ 2 กรัมต่อเมล็ดทานตะวัน 100 กรัม ควบคุมอุณหภูมิที่ 50°ซ พร้อมกับเขย่าที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาทีนาน 1 - 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำของผสมไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 11000xg นาน 20 นาที พบว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดทานตะวันต่อซิเตรทบัฟเฟอร์ 1 : 5 และใช้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเมล็ดทานตะวันที่อัตราส่วน 2 กรัมต่อ 100 กรัม แล้วควบคุมที่พีเอช 4.8 อุณหภูมิ 50°ซ นาน 2 ชั่วโมง สามารถแยกน้ำมันออกมาในสารสกัดได้มากที่สุด คือ 35.65% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดทานตะวัน

Abdulkarim *et al.* (2005) แยกน้ำมันจาก *Moringa oleifera* ผล *Moringa oleifera* พบได้ทั่วไปในประเทศแอฟริกา ผลมีลักษณะยาวรีคล้ายบวบแต่มีขนาดเล็กกว่ามีเปลือกสีเขียว น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในยาได้ โดยนำ *Moringa oleifera* มาบดให้ละเอียดแล้วผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 6 (น้ำหนัก/ปริมาตร) หลังจากนั้นนำไปต้มให้เดือดนาน 5 นาที ทำให้เย็นแล้วปรับพีเอชเป็น 6.8 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล แล้วผสมเอนไซม์โปรติเอส (ชื่อทางการค้าคือ Neutrase) 2.0% (ปริมาตร/น้ำหนัก) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 120 รอบต่อนาที ที่ 45°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่าสามารถแยกน้ำมันออกมาในสารสกัดได้ $22.6 \pm 1.17\%$ ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ใน *Moringa oleifera* เริ่มต้น

Gadet *et al.* (2005) ใช้เอนไซม์เพื่อสกัดน้ำมัน safou ผล safou พบได้ทั่วไปในแอฟริกากลาง ผลมีลักษณะทรงกลมรี มีเปลือกสีน้ำตาล โดยนำผล safou ไปอบที่ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียด แล้วผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 4.0 นอร์มัลเป็น 7.2 แล้วผสมเอนไซม์เซลลูเลส (ชื่อทางการค้าคือ Viscozym L) 0.01% (ปริมาตร/ปริมาตร) ควบคุมอุณหภูมิที่ 50°C นาน 1 ชั่วโมง พบว่าสามารถแยกน้ำมันออกมาในสารละลายสกัดได้ $42 \pm 0.7\%$ ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในผล safou เริ่มต้น

Shah *et al.* (2005) ได้แยกน้ำมันจาก *Jatropha* โดยการใช้น้ำร่วมกับเอนไซม์และคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonication) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแยกน้ำมัน ใช้เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ 4 ชนิด ดังนี้ เอนไซม์ผสมระหว่างเอนไซม์ไซลาลเนส เอนไซม์เพคตินเอส และเอนไซม์เซลลูเลส (ชื่อทางการค้าคือ pectinex) เอนไซม์โปรติเอส (ชื่อทางการค้าคือ protizyme) เอนไซม์เซลลูเลสที่ได้จาก *Aspergillus niger* และเอนไซม์ฟูลลูลานาส (ชื่อทางการค้าคือ promozyme) การทดลองใช้เมล็ด *Jatropha curcas* 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร แล้วบดด้วยเครื่องบดผสม นำของผสมมาปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 7.0 แล้วผสมเอนไซม์แต่ละชนิดปริมาณ 250 มิลลิกรัม หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ 3 สถานะ คือ 37 40 และ 50°C พร้อมกับให้คลื่นเสียงความถี่สูง โดยนำเครื่องสร้างคลื่นเสียงความถี่สูงที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกจุ่มลงในของผสม พร้อมกับเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที โดยควบคุมพีเอชและอุณหภูมิให้คงที่นาน 8 ชั่วโมง พบว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกันทั้ง 4 ชนิดในการสกัด ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ pectinex protizyme และเซลลูเลส เพียงชนิดเดียว การสกัดที่อุณหภูมิ 37°C ได้ปริมาณน้ำมันออกมา 39 32 32 21% การสกัดที่อุณหภูมิ 40°C ได้ปริมาณน้ำมันออกมา 43 33 29 31% และการ

สกัดที่อุณหภูมิ 50°ซ ได้ปริมาณน้ำมันออกมา 49 20 47 19% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ใน *Jatropha* ตามลำดับ

3. การแยกกากของแข็ง (solid separation)

สารสกัดที่ได้จากขั้นตอนการสกัดจะมีน้ำมัน โปรตีน และน้ำ เป็นส่วนประกอบ และยังมีกากของวัตถุดิบที่เหลือจากการสกัดซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำและต้องกำจัดออกไป เพื่อให้ได้เฉพาะส่วนของสารสกัดที่นำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป การแยกกากของแข็งอาจเลือกใช้วิธีการหมุนเหวี่ยงหรือการกรองโดยใช้ตะแกรงขนาดต่าง ๆ โดยอาจใช้วิธีการกรองแบบสุญญากาศ เพื่อเพิ่มความเร็วในการกรองให้เร็วขึ้น (Cater *et al.*, 1974) หลังจากการแยกกากของแข็งแล้วยังมีของแข็งบางส่วนเหลืออยู่ ซึ่งเป็นพวกโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำที่มีขนาดเล็กซึ่งจะถูกกำจัดออกในขั้นตอนเหวี่ยงแยก

4. การเหวี่ยงแยก (centrifugation)

การเหวี่ยงแยกเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในการแยกน้ำมันโดยใช้น้ำ การแยกน้ำมันโดยใช้น้ำจะมีขั้นตอนนี้อยู่เสมอ ซึ่งการเหวี่ยงแยกจะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดที่อยู่ในรูปอิมัลชันโดยการแยกน้ำออกบางส่วน โดยแยกสารสกัดออกเป็น 3 เฟส คือ อิมัลชันที่เข้มข้นขึ้นของแข็ง และน้ำ การใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วสูง ทำให้สามารถแยกน้ำออกได้มากกว่าการใช้ที่ความเร็วต่ำกว่า ทำให้ได้ส่วนอิมัลชันเข้มข้นที่มีปริมาณของน้ำมันอยู่สูง โดยโปรตีนที่มีอยู่เริ่มต้นจะถูกกำจัดออกบางส่วน ไปอยู่ในส่วนของแข็งและน้ำ (Cater *et al.*, 1974)

5. การทำลายอิมัลชัน (emulsion breaking)

สารสกัดที่ได้จากการสกัดน้ำมันโดยการใช้ น้ำเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ อิมัลชันดังกล่าวประกอบไปด้วยน้ำมัน โปรตีน และน้ำ สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifying property) ของโปรตีนทำให้อิมัลชันมีความคงตัว โดยโปรตีนถูกดูดซับเป็นฟิล์มบาง ๆ บนผิวหน้าของอนุภาคน้ำมัน ทำให้อิมัลชันมีความคงตัว (Demian, 1990) การทำลายระบบอิมัลชันจะทำให้สามารถแยกน้ำมันออกมาได้ การทำลายระบบอิมัลชันมีหลายวิธี เช่น การทำให้แข็งตัวแล้วหลอมละลาย การใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน และการหมุนเหวี่ยง

5.1 การทำให้แข็งตัวแล้วหลอมละลาย

การทำลายอิมัลชันโดยวิธีนี้ จะเหมาะกับวัตถุคิที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบสูง เช่น น้ำมันมะพร้าว วิธีนี้จะนำสารสกัดอิมัลชันไปแช่เย็นให้แข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำและนำมาหลอมละลาย ซึ่งมักทำสลับกันมากกว่า 1 ครั้ง การนำสารสกัดอิมัลชันไปแช่เย็นมีผลทำให้โปรตีนที่มีอยู่เสียสภาพเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ ทำให้อนุภาคน้ำมันที่มีอยู่มารวมกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น และแยกเป็นชั้นน้ำมันได้ Gunetileke and Laurentius (1974) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันออกจากอิมัลชันของมะพร้าว โดยนำเนื้อมะพร้าวมาคั้นน้ำและนำไปกรองแยกของแข็งออก หลังจากนั้นนำน้ำกะทิไปเหวี่ยงแยกน้ำมันบางส่วนออก ที่ความเร็ว 5000xg นาน 5 นาที ได้เป็นครีม น้ำ และของแข็ง นำครีมที่ได้มาใส่ในภาชนะอุณหภูมิเย็น นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 5°ซ นาน 20 นาที 7.5°ซ นาน 50 นาที 11°ซ นาน 80 นาที และ 15°ซ นาน 80 นาที แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 40°ซ เมื่ออ่างน้ำมีอุณหภูมิลดลงถึง 25°ซ ยกภาชนะที่ใส่ครีมออก หลังจากนั้นนำครีมไปเหวี่ยงแยกอีกครั้งที่ความเร็ว 5000xg ที่เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.5 - 6.0 นาทีเพื่อแยกน้ำและน้ำมันออกจากกัน พบว่าการแช่เย็นอิมัลชันที่อุณหภูมิ 5°ซ นาน 20 นาที แล้วปรับอุณหภูมิก่อนเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 5000xg นาน 6 นาที สามารถแยกน้ำมันออกจากอิมัลชันได้มากที่สุด ถึง 93% ของน้ำมันทั้งหมดที่มีอยู่ในสารละลายสกัด ส่วนสุคนธ์ชน (2542) ทำลายอิมัลชันน้ำกะทิเพื่อแยกน้ำมันมะพร้าวออกมา โดยนำหัวกะทิมาลดอุณหภูมิเป็น 5 - 15 °ซ นาน 20 - 30 นาที แล้วนวดปั่นและแยกน้ำสีขาวจนได้ส่วนที่เหลือมีลักษณะเหนียวและลื่นมัน หลังจากนั้นนำมาปรับอุณหภูมิเป็น 40 - 90°ซ โดยใช้อ่างน้ำร้อน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและวัดปริมาณน้ำมันที่ได้ พบว่าการนำหัวกะทิมาลดอุณหภูมิเป็น 15°ซ แล้วนำมาปรับอุณหภูมิเป็น 80°ซ สามารถแยกน้ำมันมะพร้าวออกมาได้มากที่สุด คือ 97.57% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำกะทิ

5.2 การใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน

เอนไซม์ที่ใช้ในการทำลายอิมัลชันเป็นกลุ่มที่ย่อยโปรตีน เมื่อเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน น้ำมันที่มีอยู่จะถูกปลดปล่อยและรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น และสามารถและสามารถแยกน้ำมันออกมาได้โดยการตั้งทิ้งไว้หรือการเหวี่ยงแยก (Rosenthal *et al.*, 2001) การใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนสามารถใช้ร่วมกับวิธีอื่นได้ เช่น การศึกษาของ Che Man *et al.* (1996) ใช้เอนไซม์ร่วมกับเทคนิคการทำให้แข็งตัวแล้วหลอมละลาย ในขั้นตอนทำลายอิมัลชันสารสกัดน้ำกะทิเพื่อแยกน้ำมันมะพร้าวออกมา สารสกัดน้ำกะทิที่ได้ได้จากการนำเนื้อมะพร้าวชูด 150 กรัมผสมน้ำ 150 มิลลิลิตร นวดผสมนาน 5 นาที แยกสารสกัดน้ำกะทิและนำสารสกัดน้ำกะทิที่ได้ไปให้ความ

ร้อนที่ 90°ซ นาน 3 นาทีและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำ 600 มิลลิลิตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นทำลายอิมัลชันโดยใช้เอนไซม์ 4 ชนิด คือ เอนไซม์โปรติเอส เอนไซม์โพลีกลาแลคทูโรเนส (polygalactoronase) เอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส และเอนไซม์เซลลูเลส เติมเอนไซม์ 0.1% (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในสารสกัดน้ำกะทิเพื่อย่อยโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวหน้าของอนุภาคน้ำมัน โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25°ซ พีเอช 6.5 นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำไปทำลายอิมัลชันอีกครั้งด้วยเทคนิคการทำให้แข็งตัวแล้วหลอมละลาย โดยเหวี่ยงแยกสารสกัดน้ำกะทิที่ความเร็ว 12300xg นาน 20 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 12°ซ หลังจากนั้นแยกชั้นน้ำส่วนล่างออกและนำครีมส่วนบนที่แข็งตัวมาหลอมละลาย นำครีมที่ละลายแล้วไปเหวี่ยงแยกอีกครั้งที่ความเร็ว 12300xg นาน 20 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 12°ซ ซึ่งจะได้น้ำครีมที่แข็งตัวด้านบนและชั้นน้ำด้านล่าง นำครีมที่แข็งตัวมาหลอมละลายและติดตามการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอนุภาคน้ำมันขนาดเล็กที่มีอยู่จะมารวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและปรากฏชั้นของน้ำมันออกมา พบว่าการใช้เอนไซม์ที่ผสมกัน 4 ชนิด ทำลายอิมัลชันสารสกัดน้ำกะทิโดยย่อยโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวหน้าของอนุภาคน้ำมัน คือ เอนไซม์โปรติเอส เอนไซม์เซลลูเลส เอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส และเอนไซม์โพลีกลาแลคทูโรเนส ให้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวออกมามากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้เอนไซม์โปรติเอส เอนไซม์โพลีกลาแลคทูโรเนส เอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส และเอนไซม์เซลลูเลส เพียงชนิดเดียว คือ 41.67 36.09 32.16 28.17 และ 28.12% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำกะทิเริ่มต้น

5.3 การหมุนเหวี่ยง

การหมุนเหวี่ยงเป็นวิธีทำลายอิมัลชันเพื่อแยกน้ำมันที่มีอยู่ในสารสกัดอิมัลชัน ให้น้ำมันรวมตัวกันแล้วแยกชั้นออกมา เช่น ผลงานวิจัยของ Abdulkarim *et al.* (2005) ทำลายอิมัลชันที่ได้จากการสกัดน้ำมัน *Moringa oleifera* ซึ่งใช้เอนไซม์ในขั้นตอนการสกัด โดยนำสารสกัดไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 8000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 20°ซ นาน 20 นาที ได้เป็นอิมัลชันที่เข้มข้น ของแข็ง และน้ำ รินอิมัลชันเข้มข้นที่ได้ใส่ในกรวยแยกแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นของเฟสน้ำมันและเฟสน้ำภายหลัง รวมถึงงานวิจัยของ Shah *et al.* (2005) ทำลายอิมัลชันโดยนำสารสกัด *Jatropha* ที่ได้ไปทำลายอิมัลชันโดยการเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 10000xg นาน 20 นาที และชั่งน้ำหนักน้ำมันที่แยกออกมาได้ โดยน้ำมันจะแยกชั้นอยู่ที่ส่วนบนของของผสมหลังการทำลายอิมัลชันด้วยการเหวี่ยงแยก

นอกจากนี้การใช้สมบัติไม่มีขั้วของน้ำมันสามารถนำมาใช้ทำลายอิมัลชันได้ Debrah and Ohta (1994) ทำลายอิมัลชันที่ได้จากการสกัดน้ำมัน Shea โดยนำสารสกัดที่ได้ไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 12300xg นาน 20 นาที หลังจากนั้นแยกอิมัลชันเข้มข้นที่อยู่ชั้นบนมาใส่ในกรวยแยก แล้ว

เติมตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ และเขย่าให้อิมัลชันและปิโตรเลียมอีเทอร์สัมผัสกันอย่างทั่วถึง
ทำให้น้ำมันที่มีอยู่ในสารสกัดกระจายตัวมาอยู่ในปิโตรเลียมอีเทอร์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นแล้ว
นำปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีน้ำมันผสมอยู่ มาระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกโดยใช้อ่างน้ำร้อน