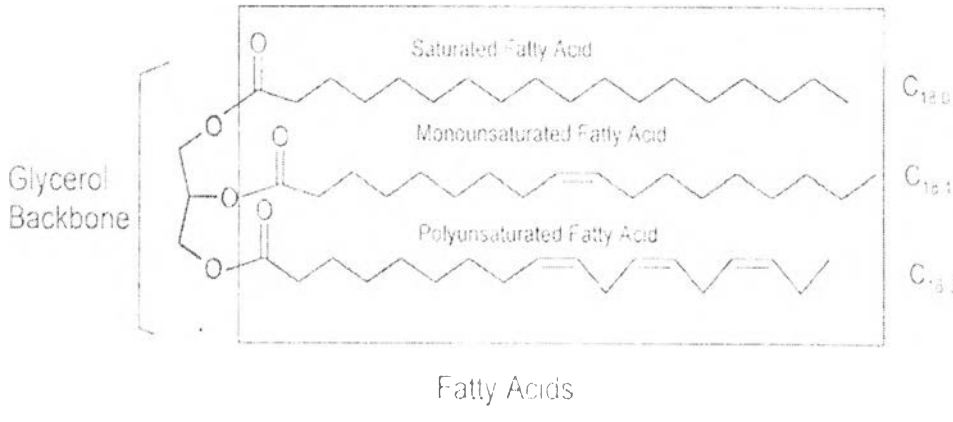
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 โครงสร้างทางเคมีของไขมันและน้ำมัน

นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548) รายงานว่าไขมัน (fats) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acids) 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (รูปที่ 2.1) ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าไขมัน หากมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าน้ำมัน (oils) ไขมันและน้ำมันประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลหลายชนิด และในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลแต่ละชนิดประกอบไปด้วยกรดไขมันที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลจะเป็นตัวกำหนดสมบัติของไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดให้แตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์
ที่มา : Kodali (2005)

2.1.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids)

เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนด์อะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก เช่น กรดสเตียริก (stearic acid; C18:0) เป็นต้น (รูปที่ 2.2)

2.1.2 **กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว** (unsaturated fatty acids)

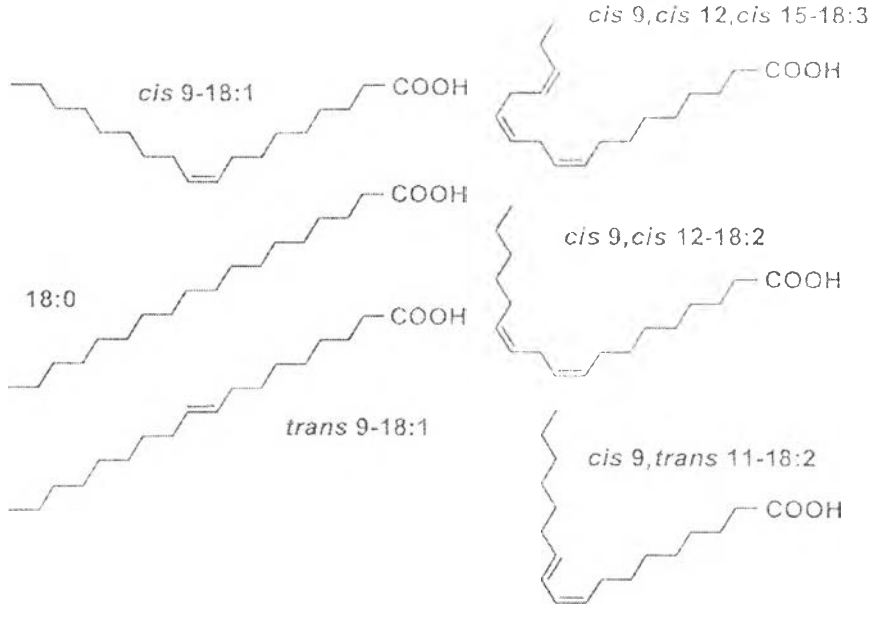
เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่ง สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนของพันธะคู่ได้ดังนี้

2.1.2.1 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล 1 คู่ (monounsaturated fatty acids)

เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 คู่ เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid; C18:1) ซึ่งพบในน้ำมันถั่วเหลืองเป็นต้น (รูปที่ 2.2)

2.1.2.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลมากกว่า 1 คู่ (polyunsaturated fatty acids)

เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลมากกว่า 1 คู่ เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acid; C18:3) ซึ่งพบมากในน้ำมันถั่วเหลืองเป็นต้น (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันและไขมัน

ที่มา : Mossoba และคณะ (2005)

2.1.3 **การเรียกชื่อกรดไขมัน**

การนับตำแหน่งของอะตอมคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จะเริ่มนับคาร์บอนของหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เป็นอะตอมคาร์บอนที่ 1 คาร์บอนที่ติดอยู่กับหมู่คาร์บอกซิลเป็นอะตอมคาร์บอนที่ 2 การบอกตำแหน่งของพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันนิยมบอกตามตำแหน่งของคาร์บอน เช่น ตำแหน่งพันธะคู่อยู่ที่อะตอมคาร์บอนที่ 9 หรืออยู่ระหว่างอะตอมคาร์บอนที่ 9 และที่ 10 เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีวิธีเขียนย่อเพื่อบอกจำนวนของคาร์บอนทั้งหมด และจำนวนพันธะคู่ทั้งหมดในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวนั้นด้วย ตัวอย่างเช่น

16:0 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 16 อะตอม และไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล

18:1;9 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม และมีพันธะคู่ในโมเลกุล 1 คู่ อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9

18:2;9,12 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม และมีพันธะคู่ในโมเลกุล 2 คู่ อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 12

การบอกตำแหน่งพันธะคู่อาจนับจากปลายด้านหมู่เมทิลก็ได้ เช่น 18:2;n-6 หมายถึง กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่ 2 คู่ และพันธะคู่ๆแรกอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 นับจากปลายด้านหมู่เมทิล มีชื่อว่ากรดลิโนเลอิก จัดอยู่ในกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 18:3;n-3 หมายถึง กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่ 3 คู่ และพันธะคู่ๆแรกอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 นับจากปลายด้านหมู่เมทิล มีชื่อว่ากรดลิโนเลนิก จัดอยู่ในกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

ตำแหน่งของพันธะคู่สามารถแสดงโดยใช้สัญลักษณ์ Δ (delta) ตามด้วยตำแหน่งของคาร์บอนที่อยู่ในพันธะคู่ๆแรกนับจากปลายด้านหมู่เมทิลของกรดไขมัน (Prayanoi, 1995)

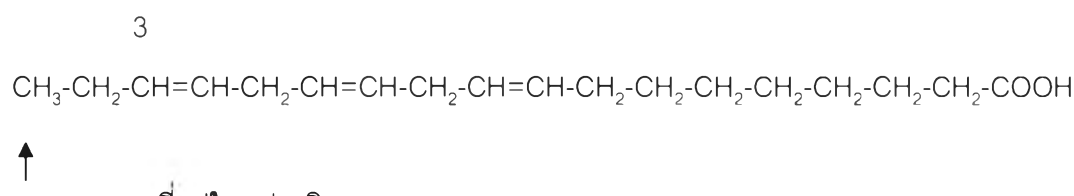
2.1.4 **กรดไขมันจำเป็น** (essential fatty acids) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

หมายถึง กรดไขมันที่ร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ แต่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของร่างกายและจำเป็นที่จะต้องได้รับจากการรับประทานอาหารเท่านั้น กรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1.4.1 กรดไขมันโอเมกา-3

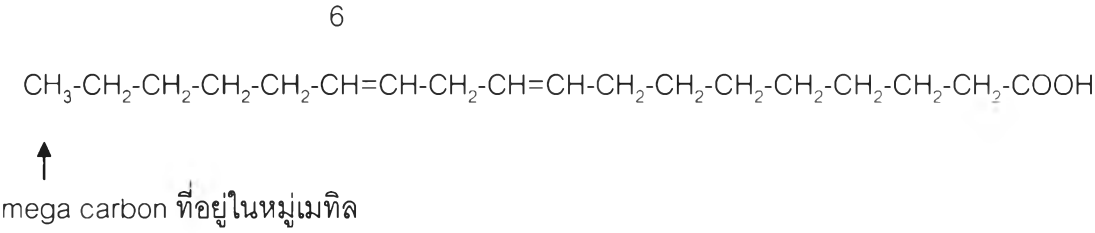
กรดไขมันที่มีตำแหน่งแรกของพันธะคู่นับจากทางด้านหมู่เมทิลอยู่ที่ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมที่ 3 จะเรียกว่ากรดไขมันโอเมกา-3 กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 ที่เป็นกรดไขมันที่

จำเป็นต่อร่างกาย คือ กรดแอลฟา-ลิโนเลนิก (alpha-linolenic acid; LNA หรือ C18:3) หรือเรียกสั้นๆ ว่ากรดลิโนเลนิกซึ่งจะพบมากในน้ำมันถั่วเหลืองเป็นต้น จะมีสูตรโครงสร้างดังนี้



2.1.4.2 กรดไขมันโอเมกา-6

กรดไขมันโอเมกา-6 เป็นกลุ่มของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ โดยกรดไขมันในกลุ่มนี้ตำแหน่งแรกของพันธะคู่นับจากทางด้านหมู่เมทิลจะอยู่ที่ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมที่ 6 กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-6 ที่เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid; LA หรือ C18:2) ซึ่งจะพบมากในน้ำมันถั่วเหลืองเป็นต้น จะมีสูตรโครงสร้างดังนี้



2.1.5 ปริมาณกรดไขมันที่สำคัญและปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลือง

ข้อมูลจาก CODEX Stan 210 (1999) น้ำมันถั่วเหลืองจะมีปริมาณกรดไขมันที่สำคัญดังนี้ คือ กรดโอเลอิก (oleic acid; C18:1) อยู่ระหว่าง 17-30 % กรดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) อยู่ระหว่าง 48-59 % และกรดลิโนเลนิก (inolenic acid; C18:3) อยู่ระหว่าง 4.5-11 % (ตารางที่ 2.1) และในน้ำมันถั่วเหลืองจะมีโทโคฟีรอลอยู่ระหว่าง 252-3,627 mg/kg (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช (% ของกรดไขมันทั้งหมด)

ชนิดของกรดไขมัน	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันข้าวโพด	น้ำมันเมล็ดฝ้าย	น้ำมันดอกทานตะวัน
กรดลอริก (lauric acid),C12:0	ND*-0.1	ND-0.3	ND-0.2	ND-0.1
กรดไมริสติก (myristic acid),C14:0	ND-0.2	ND-0.3	0.6-1.0	ND-0.2
กรดปาล์มิติก (palmitic acid),C16:0	8-13.5	8.6-16.5	21.4-26.4	5-7.6
กรดสเตียริก (stearic acid),C18:0	2-5.4	ND-3.3	2.1-3.3	2.7-6.5
กรดโอเลอิก (oleic acid),C18:1	17-30	20.0-42.2	14.7-21.7	14.0-39.4
กรดลิโนเลอิก (linoleic acid),C18:2	48-59	34.0-65.6	46.7-58.2	48.3-74.0
กรดลิโนเลนิก (linolenic acid),C18:3	4.5-11.0	ND-2.0	ND-0.4	ND-0.3

ND* หมายถึง non detectable

ที่มา : CODEX Stan 210 (1999)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันพืชดิบ (crude vegetable oil) (mg/kg)

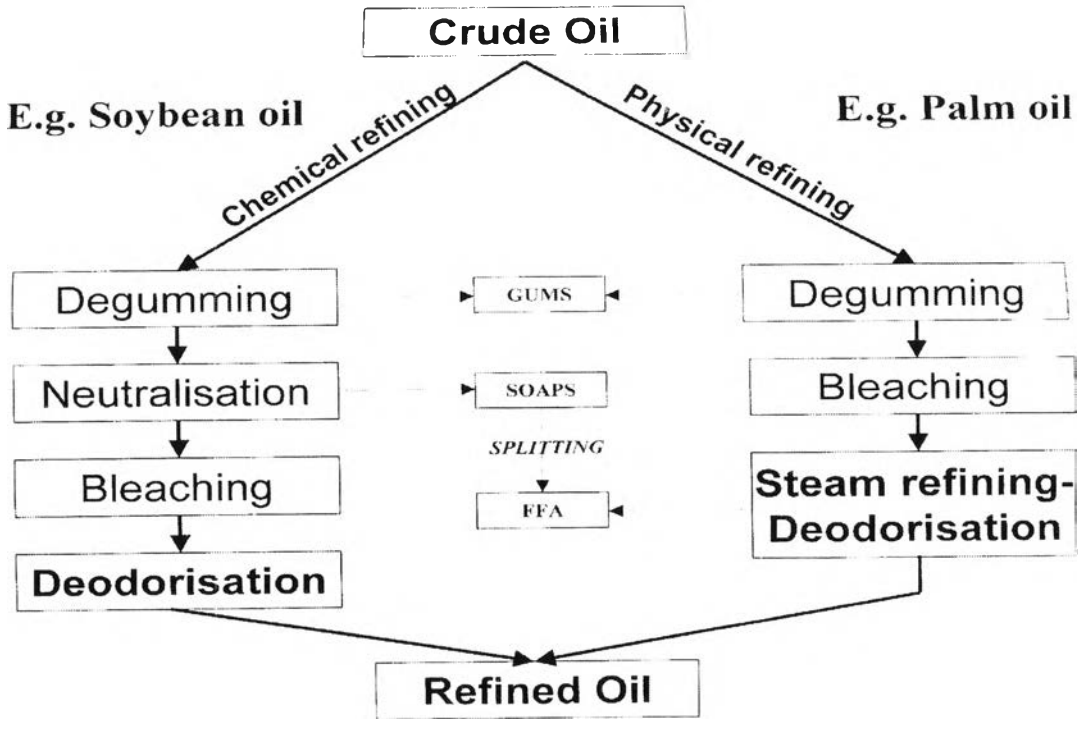
ชนิดของโทโคฟีรอล	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันข้าวโพด	น้ำมันเมล็ดฝ้าย	น้ำมันดอกทานตะวัน
แอลฟา (α)	9-352	23-573	136-674	403-935
บีตา (β)	ND*-36	ND-356	ND-29	ND-45
แกมมา (γ)	89-2,307	268-2,468	138-746	ND-34
เดลตา (δ)	154-932	23-75	ND-21	ND-7.0
Total	252-3,627	314-3,472	274-1,470	403-1,021

ND* หมายถึง non detectable

ที่มา : CODEX Stan 210 (1999)

2.2 กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (refining process)

วราพร พงศ์ธรกุลพานิช (2543) รายงานว่าในปัจจุบันการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี (chemical refining) และการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ (physical refining) (รูปที่ 2.3) วิธีการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมีจะพบปัญหาในกรณีที่น้ำมันดิบ (crude oil) มีกรดไขมันอิสระปริมาณสูง จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการผลิต (refining loss) ค่อนข้างมาก จึงมีการใช้วิธีการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางกายภาพโดยตัดกระบวนการทำน้ำมันให้เป็นกลาง (neutralization) ออกและกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) ในกระบวนการกำจัดกลิ่น (deodorization)



รูปที่ 2.3 กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพ

ที่มา : Kellens และ De Greyt (2000)

ในแต่ละกระบวนการมีวิธีการเป็นขั้นๆ และวัตถุประสงค์ ดังนี้

2.2.1 **กระบวนการกำจัดยางเหนียว** (degumming process)

กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมีและทางกายภาพ จะเริ่มจากขั้นตอนการกำจัดยางเหนียว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสารประกอบพวกฟอสโฟลิปิด ซึ่งเหตุผลและความจำเป็นที่ต้องกำจัดฟอสโฟลิปิดออกจากน้ำมันเพราะหากปล่อยฟอสโฟลิปิดไว้ในน้ำมันเป็นเวลานาน ฟอสโฟลิปิดจะดูดความชื้นจากในน้ำมันและจากอากาศและตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำมันนอนอยู่ก้นถังที่ใช้เก็บน้ำมันและเกิดการเน่าขึ้นได้ และอายุการเก็บรักษาน้ำมันจะสั้นลง เกิดกลิ่นหืนง่ายและสีของน้ำมันจะเข้มเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเกลือของโลหะที่ปนเปื้อนมาซึ่งเกาะอยู่กับฟอสโฟลิปิดจะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.2.2 **กระบวนการทำน้ำมันให้เป็นกลาง** (neutralization process)

กระบวนการทำน้ำมันให้เป็นกลาง เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งกระบวนการนี้ใช้กันมากและยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่ถ้าเป็นกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพจะไม่มีขั้นตอนนี้

กระบวนการนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระที่ติดมากับน้ำมันออกไป โดยอาศัยปฏิกิริยาการทำน้ำมันให้เป็นกลาง โดยการเติมด่างลงไปเพื่อให้ไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันและเกิดปฏิกิริยาในการทำสบู่ (saponification) ได้เป็นเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ (soap) ฟอสโฟลิปิด โลหะหนัก และรงควัตถุบางชนิดจะถูกกำจัดออกมากับ soap ด้วย

กระบวนการทำน้ำมันให้เป็นกลางจะเริ่มต้นด้วยการให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอิมัลชันในน้ำมันเนื่องจาก soap เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ที่ดี จากนั้นจะเติมกรดฟอสฟอริกเพื่อกำจัดฟอสโฟลิปิดและโลหะหนัก (ภานุวัฒน์ ยีหวังเจริญ, 2544) หลังจากนั้นจะเติมด่างลงในน้ำมัน ด่างที่นิยมใช้ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งกำจัดกรดไขมันอิสระได้ดีจนเหลือระหว่าง 0.01–0.03 % soap ที่เกิดขึ้นจะละลายน้ำได้ดีจึงแยกตัวออกจากน้ำมันเข้ามาอยู่ในชั้นน้ำ ระยะเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาการทำให้น้ำมันเป็นกลางนี้จะแตกต่างกันขึ้นกับระบบของโรงงาน จากนั้นจะใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) แยก soap ออกจากน้ำมัน แล้วล้างน้ำมันด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 90 °C เพื่อกำจัด soap ที่เหลือในน้ำมัน จากนั้นน้ำมันจะเข้าไปยังเครื่องระเหยน้ำแบบสุญญากาศ (vacuum dryer) เพื่อกำจัดน้ำที่เหลือออกจากน้ำมัน น้ำมันที่ได้จะถูกส่งเข้ากระบวนการฟอกสีและการกำจัดกลิ่นต่อไป สำหรับ soap ที่ได้นำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก (sulphuric acid) ให้กลับเป็นกรดไขมันอิสระเรียกว่า acid oil เรียก

กระบวนการนี้ว่า soap stock splitting หรือ acidulation ซึ่ง acid oil สามารถขายให้กับโรงงานผลิตอาหารสัตว์ต่อไป

ในการทำให้น้ำมันเป็นกลางด้วยด่าง มีตัวแปรหลายอย่างที่ต้องคำนึงถึงที่สำคัญคือ ชนิด และความเข้มข้น ปริมาณของด่าง อุณหภูมิ และวิธีกำจัดสิ่งเจือปนที่แยกออกมา โดยในกรณีของน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำควรจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นจะใช้กับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง

2.2.3 **กระบวนการฟอกสีน้ำมัน** (bleaching process)

กระบวนการฟอกสีมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดรงควัตถุออกจากน้ำมันเพื่อให้สีของน้ำมันอ่อนลง โดยในขั้นตอนแรกจะให้ความร้อนแก่น้ำมันแล้วเติมกรดซิตริกเจือจางเพื่อทำลายโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งเกิดจากโลหะหนักปริมาณน้อยที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำมัน หรืออาจจะปนเปื้อนมาจากระหว่างการ transfer หรือการจัดเก็บน้ำมัน จากนั้นจะเติมผงฟอกสี (activated bleaching earth) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (adsorbents) สารต่างๆ ออกจากน้ำมัน ตัวดูดซับเหล่านี้นอกจากจะดูดซับรงควัตถุแล้วยังดูดซับ soap และฟอสโฟลิปิดที่เหลืออยู่ในน้ำมันจากกระบวนการทำน้ำมันให้เป็นกลางออกไปจากน้ำมันด้วย หลังจากนั้นจะกรองน้ำมันด้วยเครื่องกรอง (filter) โดยมีการใช้สารช่วยกรอง (filter aid) ช่วยในการกรองน้ำมันด้วย น้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จากกระบวนการฟอกสีจะเรียกว่า bleached soybean oil

2.2.4 **กระบวนการกำจัดกลิ่น** (deodorization process)

กระบวนการกำจัดกลิ่นมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสารที่ระเหยได้ง่ายออกจากน้ำมัน โดยการใช้ไอน้ำภายใต้สุญญากาศและอุณหภูมิสูง เพื่อช่วยพาสารที่ระเหยได้ต่างๆ ออกจากน้ำมันได้เร็วยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิในการกำจัดกลิ่น จะมีขีดจำกัดที่น้ำมันอาจถูกออกซิไดส์และให้สารที่มีกลิ่นอื่นๆ ออกมาอีก การกำจัดกลิ่นจึงมักกระทำในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน การกำจัดกลิ่นจะช่วยให้น้ำมันปราศจากกลิ่น อายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น สีของน้ำมันจะอ่อนลงได้บ้างอันเนื่องมาจากสีจากรงควัตถุถูกทำลาย เช่น สารจำพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นต้น

ส่วนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ ในกระบวนการกำจัดกลิ่นนี้จะมีการทำ steam refining โดยการใช้ไอน้ำผ่านเข้าไปในน้ำมันร้อนภายใต้สุญญากาศ กรดไขมันอิสระจะระเหยออกไปพร้อมกับสารปนเปื้อนที่ระเหยง่าย วิธีทางกายภาพนี้มักใช้กับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง แต่จะมีข้อเสียในด้านการใช้พลังงานค่อนข้างสูง (วราพร พงศ์ธรกุลพานิช, 2543)

กระบวนการกำจัดกลิ่นจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.2.4.1 การไล่อากาศออกจากน้ำมัน (deaeration)

ไล่อากาศออกจากน้ำมันก่อนให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันและการเกิดพอลิเมอร์

2.2.4.2 การให้ความร้อนแก่น้ำมัน (heating)

ให้ความร้อนแก่น้ำมันจนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่น (deodorizing temperature) ให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำความดันสูงที่อยู่ภายใน coil ถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันที่อยู่ภายนอก coil ซึ่งน้ำมันจะอยู่ภายใต้ภาวะสุญญากาศ

2.2.4.3 การกำจัดกลิ่นและกรดไขมันอิสระ (deodorization และ deacidification)

ขั้นตอนนี้จะกำจัดสารที่ให้กลิ่นในน้ำมัน เช่น แอลดีไฮด์ คีโตน กำจัดกรดไขมันอิสระ ทำลายเพอร์ออกไซด์และรงควัตถุซึ่งส่วนใหญ่คือแคโรทีนอยด์

2.2.4.4 การทำให้น้ำมันเย็นลง (cooling)

ทำให้น้ำมันเย็นลงภายใต้ความดันต่ำๆ โดยปั๊มน้ำมันไปยัง heat recovery economiser อุณหภูมิน้ำมันจะอยู่ที่ประมาณ 120-130 °C

2.2.4.5 การควบแน่นของสารที่ระเหยเป็นไอได้

ในระหว่างกระบวนการกำจัดกลิ่นสารที่ระเหยเป็นไอในกระบวนการกำจัดกลิ่นจะควบแน่นกลับมาในหอควบแน่น (direct condenser)

ถ้าจะทำให้น้ำมันที่ออกจากหอกำจัดกลิ่น มีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์น้อยกว่า 1 % และสูญเสียโทโคฟีรอลน้อยกว่า 25 % จะต้องใช้อุณหภูมิในหอกำจัดกลิ่นที่ 230-235 °C สำหรับกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์แบบ chemical refining (Kellens,1997)

Jung และคณะ (1989) ศึกษาผลของกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนที่มีต่อปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลือง โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำมันถั่วเหลือง 1 โรงงาน พบว่ากระบวนการผลิตลดปริมาณโทโคฟีรอลลง 31.8 % เมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองดิบ (crude soybean oil) โดยปริมาณโทโคฟีรอลลดลงมากที่สุดในกระบวนการกำจัดกลิ่น สำหรับองค์ประกอบของโทโคฟีรอลแต่ละชนิดจะคงที่ในระหว่างกระบวนการผลิต และพบว่าปริมาณ แกมมา-โทโคฟีรอล รวมกับ เดลตา-โทโคฟีรอล ในปริมาณมากกว่า 94 % ของปริมาณโทโคฟีรอลทั้งหมดในน้ำมันถั่วเหลือง

Ferrari และคณะ (1996) ศึกษาผลของ chemical refining techniques ซึ่งใช้ในการผลิตน้ำมันพืชในระดับอุตสาหกรรมต่อองค์ประกอบของสารปริมาณน้อย เช่น กรดไขมันชนิดทรานส์

และโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลือง โดยเก็บตัวอย่างจากกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนของโรงงานที่ผลิตน้ำมันถั่วเหลืองแบบ chemical refining ในประเทศบราซิล จำนวน 1 โรงงาน พบว่าหลังจากกระบวนการทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์มีกรดไขมันชนิดทรานส์เพิ่มขึ้นในน้ำมันถั่วเหลืองประมาณ 4 % โดยกระบวนการกำจัดกลิ่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์เพิ่มมากขึ้น และพบว่าปริมาณโทโคฟีรอลลดลงในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต และลดลงอย่างมากในระหว่างกระบวนการกำจัดกลิ่น โดยอัตราส่วนของโทโคฟีรอลแต่ละชนิดค่อนข้างคงที่ในระหว่างกระบวนการทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์ และจะพบแกมมา-โทโคฟีรอลมากที่สุดในน้ำมันถั่วเหลือง

Medina-Juarez และคณะ (2000) ศึกษาปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์และปริมาณโทโคฟีรอลของน้ำมันถั่วเหลืองในประเทศเม็กซิโก ซึ่งใช้หอกำจัดกลิ่น (deodorizer) แบบ semicontinuous process และใช้อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นระหว่าง 240-260 °C โดยเก็บตัวอย่างจากโรงงานผลิตน้ำมันถั่วเหลืองจำนวน 18 โรงงาน คิดเป็น 72 % ของโรงงานผลิตน้ำมันพืชทั้งหมดในประเทศเม็กซิโก โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันจากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชแบบ physical refining จำนวน 1 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างน้ำมันจากกระบวนการผลิตแบบ chemical refining จำนวน 17 ตัวอย่าง พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันชนิดทรานส์ระหว่าง 0.90-2.93 % ใกล้เคียงกับผลที่รายงานในประเทศฝรั่งเศสพบ 0.16-2.99 % และในประเทศเบลเยี่ยมพบ 0.90-3.50 % โดยตัวอย่างจำนวน 72 % จะมีกรดไขมันชนิดทรานส์สูงกว่า 1 % กระบวนการกำจัดกลิ่นจะทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ในน้ำมันถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ถ้าใช้อุณหภูมิในหอกำจัดกลิ่นที่ 240 °C จะเกิดกรดไขมันชนิดทรานส์น้อยกว่า 1 % และจะพบปริมาณ linolenic trans isomers สูงกว่า linoleic trans isomers และไม่พบ oleic trans isomer สำหรับปริมาณโทโคฟีรอล (tocopherol, T) พบว่าตัวอย่างจำนวน 83 % มีปริมาณ γ-T > δ-T > α-T ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของน้ำมันถั่วเหลือง ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้อุณหภูมิในกระบวนการกำจัดกลิ่นที่ 240-260 °C จะมีการสูญเสียโทโคฟีรอลอยู่ระหว่าง 40-56 % เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลืองดิบ การที่ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันถั่วเหลืองลดลง เนื่องมาจากผลของ distillation removal หรือเป็นผลจากการที่โทโคฟีรอลเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน (thermal degradation) โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ distillation losses คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่น ความดัน และปริมาณ stripping steam ส่วนการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของโทโคฟีรอลขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการกำจัดกลิ่น และการใช้อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นที่สูงกว่า 240 °C ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 240 °C จะสูญเสียโทโคฟีรอลโดยการระเหยเป็นไอระหว่างกระบวนการ distillation

วัตถุประสงค์ของการทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำมันพืช เพื่อให้ได้น้ำมันพืชที่มีคุณภาพทางด้านเคมี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และมีความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันดีขึ้น ในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในแถบยุโรป กระบวนการทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์ไม่ใช่เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน เช่น ฟอสโฟลิปิด กรดไขมันอิสระ เพอร์ออกไซด์ พอลิเมอร์ รงควัตถุ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นที่สองเท่านั้น แต่จะต้องเกิดกรดไขมันชนิดทรานส์และสูญเสียโทโคฟีรอลน้อยที่สุดด้วย กระบวนการกำจัดกลิ่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการกำจัดกรดไขมันอิสระ แอลดีไฮด์ ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว และคีโตน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ดีในน้ำมันพืช ในกระบวนการกำจัดกลิ่น น้ำมันพืชอาจจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน (thermal degradation) พันธะคู่อาจเปลี่ยนจากรูปซิสไปเป็นรูปทรานส์และอาจเกิดการสูญเสียโทโคฟีรอลเกิดขึ้นด้วย โทโคฟีรอลจะลดลงอย่างมากในระหว่างกระบวนการกำจัดยางเหนียว กระบวนการทำน้ำมันให้เป็นกลาง กระบวนการฟอกสี และลดลงมากที่สุดในกระบวนการกำจัดกลิ่น

Kellens และ De Greyt (2000) รายงานว่ากระบวนการกำจัดกลิ่นเป็นกระบวนการกลั่นโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูงเพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระและสารมีกลิ่นที่ระเหยได้ซึ่งอยู่ในน้ำมัน ทำให้ได้น้ำมันซึ่งไม่มีรสชาติและไม่มีกลิ่น และแคโรทีนอยด์จะถูกทำลายโดยผลของ heat bleaching สารข้างต้นจะมีอยู่ในน้ำมันพืชระหว่าง 0.1-1.0% กระบวนการกำจัดกลิ่นปกติจะใช้อุณหภูมิระหว่าง 230-260 °C ที่ความดัน 2-4 mbar และใช้ปริมาณไอน้ำที่ 0.5-2.0% ในระหว่างกระบวนการกำจัดกลิ่นจะมีกรดไขมันชนิดทรานส์เกิดขึ้นด้วยซึ่งเป็นผลมาจากเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการกำจัดกลิ่น โดยทั่วไปกรดไขมันชนิดทรานส์จะเกิดขึ้นน้อยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 220 °C จะเกิดขึ้นมากที่อุณหภูมิระหว่าง 220-240 °C และจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่อุณหภูมิสูงกว่า 240 °C

De Greyt และ Kellens (2005) รายงานว่าความสัมพันธ์ของอัตราการเกิด isomerization ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในน้ำมันถั่วเหลืองจาก cis-isomer ไปเป็น trans-isomer คือ กรดลิโนเลนิกเกิด isomerization rate ได้มากกว่ากรดลิโนเลอิกอยู่ 100 เท่า และกรดลิโนเลอิกจะเกิด isomerization rate ได้มากกว่ากรดโอเลอิกอยู่ 10 เท่า โดยจะต้องมี methylene-interrupted diene อยู่ในโมเลกุลของกรดไขมันจึงจะเกิดกรดไขมันชนิดทรานส์ขึ้นได้ สำหรับการระเหยเป็นไอของโทโคฟีรอลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันไอ (vapor pressure) ของโทโคฟีรอลเพิ่มขึ้น ค่าความดันไอ

ของโทโคฟีรอลจะเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้นตามสมการความสัมพันธ์ของ vapor pressure-temperature ของ Antoine:

$$\ln P_i^{\circ} = A - (B)/(T+C)$$

P_i° คือ vapor pressure ของสารแต่ละชนิด (i)

T คือ absolute temperature ($^{\circ}$K)

A, B, C คือ chemical constants ของสารแต่ละชนิด

ถ้าอุณหภูมิต่ำลงค่าความดันไอของโทโคฟีรอลจะต่ำลง การระเหยกลายเป็นไอของโทโคฟีรอลจะลดลง

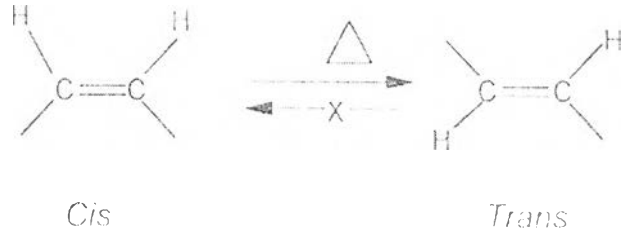
Frandsen (n.d.) รายงานว่าจะเริ่มมีการสูญเสียโทโคฟีรอลจากน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อใช้อุณหภูมิในกระบวนการกำจัดกลิ่นที่ 220 °C และใช้สุญญากาศที่ 2.5-4 mbar

2.3 กรดไขมันชนิดทรานส์ (trans fatty acids)

กรดไขมันชนิดทรานส์ คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีพันธะคู่อย่างน้อย 1 ตำแหน่งอยู่ในรูป trans configuration (Pinkaew, 2002)

2.3.1 ไอโซเมอร์ (isomer) ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

การที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ทำให้อะตอมหรือหมู่ที่เกาะอยู่กับอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ระหว่างพันธะคู่ มีโอกาสเรียงตัวได้แตกต่างกันและเกิดเป็นไอโซเมอร์ขึ้นได้เรียกว่าไอโซเมอร์เชิงเรขาคณิต (geometrical isomerism) (รูปที่ 2.4) ถ้าหมู่หรืออะตอมที่เหมือนกันเกาะอยู่กับอะตอมของคาร์บอนระหว่างพันธะคู่และอยู่ด้านเดียวกันจะเรียกว่ารูปซิส (cis-form) แต่ถ้าหมู่หรืออะตอมที่เหมือนกันอยู่ด้านตรงข้ามกันระหว่างพันธะคู่จะเรียกว่ารูปทรานส์ (trans-form) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

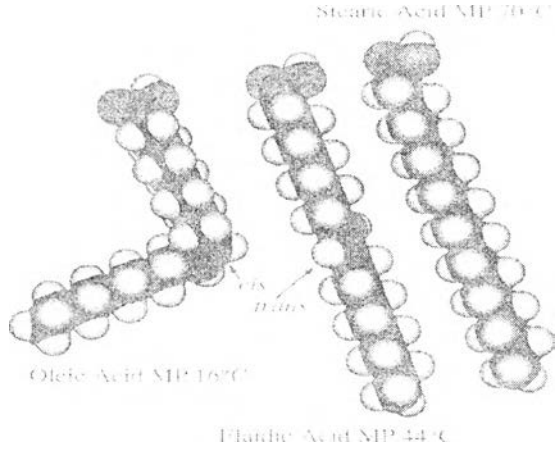


รูปที่ 2.4 cis, trans isomerism ของพันธะคู่ภายใต้ภาวะที่ได้รับความร้อน

ที่มา : Kodali (2005)

2.3.2 **สมบัติของกรดไขมันชนิดทรานส์**

กรดไขมันในธรรมชาติพันธะคู่จะอยู่ในรูปซิสหรือเรียกว่ากรดไขมันชนิดซิส และจะเกิดไอโซเมอไรซ์ (isomerized) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปทรานส์หรือกรดไขมันชนิดทรานส์ได้ กรดไขมันชนิดซิสจะมีโครงสร้างโค้งงอ (bent) ในขณะที่กรดไขมันชนิดทรานส์จะมีโครงสร้างค่อนข้างเป็นเส้นตรง (linear) คล้ายกับกรดไขมันชนิดอิ่มตัว โมเลกุลของกรดไขมันชนิดทรานส์ซึ่งเป็นเส้นตรงจะเกิด crystal packing อัดตัวกันได้แน่นกว่ากรดไขมันชนิดซิสซึ่งมีโมเลกุลโค้งงอ จึงทำให้กรดไขมันชนิดทรานส์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันชนิดซิสแต่จะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก (C18:1) ในรูปซิสจะมีจุดหลอมเหลว 16 °C เมื่อเปลี่ยนไปอยู่ในรูปกรดอีไลดิก (elaidic acid; C18:1) ซึ่งเป็นรูปทรานส์จะมีจุดหลอมเหลว 44 °C ในขณะที่กรดสเตียริค (C18:0) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลว 70 °C (รูปที่ 2.5) (Kodali, 2005)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก (cis-9) กรดอีไลดิก (trans-9) และกรดสเตียริก
ที่มา : Kodali (2005)

2.3.3 **แหล่งของกรดไขมันชนิดทรานส์** (Pinkaew, 2002)

2.3.3.1 กระบวนการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation process)

กระบวนการ hydrogenation เป็นการเติมอะตอมของไฮโดรเจนเข้าไปในพันธะคู่และจะเปลี่ยนพันธะคู่ให้เป็นพันธะเดี่ยว ในระหว่างกระบวนการ hydrogenation จะเกิดไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) ของพันธะคู่จาก cis configuration ไปเป็น trans configuration ซึ่งเสถียรกว่า และอาจเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ในสายโซ่คาร์บอน ไขมันที่ได้จากกระบวนการ hydrogenation จะมีกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดโอเลอิกเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่

2.3.3.2 Biohydrogenation

ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันชนิดทรานส์ในไขมันจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยจะเป็นกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิกซึ่งเกิดขึ้นจาก biohydrogenation โดยแบคทีเรียในกระเพาะอาหารส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.3.3.3 Thermal isomerization

กระบวนการกำจัดกลิ่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์ เพื่อกำจัดสารประกอบที่ระเหยได้ซึ่งส่วนใหญ่ คือ แอลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ดีในน้ำมัน กระบวนการกำจัดกลิ่นจะใช้อุณหภูมิสูง (ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 245-250 °C) โดยใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน ภายใต้สุญญากาศ (ความดันสัมบูรณ์ ที่ 1-6 mmHg) นาน 15 นาที หรือหลายชั่วโมง ที่ภาวะเช่นนี้จะชักนำให้เกิด geometrical isomerization ของกรดไขมันลิโนเลอิกและกรดไขมันลิโนเลนิก โดยพันธะคู่จะเกิดการ isomerization จากรูปซิสไปเป็นรูปทรานส์ (geometrical isomers) เท่านั้น ไม่มีการเลื่อนตำแหน่งของพันธะคู่ (positional isomer) ปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการกำจัดกลิ่น

2.3.4 ปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ในอาหาร

นม เนยแข็ง และไขมันวัวจะมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ประมาณ 2-7% ของไขมันทั้งหมด ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำมันและไขมันที่ผ่านกระบวนการ partial hydrogenation จะมีกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ระหว่าง 10-30 % ของกรดไขมันทั้งหมด (Pinkaew, 2002)

Prayanoi (1995) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อสวนประกอบของกรดไขมันในอาหาร พบว่าน้ำมันพืชที่ขายทั่วไปยกเว้นน้ำมันข้าวโพดจะตรวจพบปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดลิโนเลอิก (C18:2) ซึ่งอาจจะเกิด isomerization ระหว่างกระบวนการผลิตน้ำมันพืช โดยจะพบกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดลิโนเลอิกในน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันรำข้าวอยู่ระหว่าง 0.36-0.54 % 1.99-3.39 % และ 1.11-1.12 % ตามลำดับ ในการศึกษาของ Prayanoi (1995) ไม่ได้วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดลิโนเลนิก

Pinkaew (2002) ศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ของอาหารไทยบางประเภท รวมถึงองค์ประกอบของกรดไขมันและไขมันทั้งหมดในอาหารนั้นๆ ตัวอย่างอาหารที่ศึกษามีทั้งหมด 24 ชนิด นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันโดยเฉพาะกรดไขมันชนิดทรานส์ กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัว และปริมาณไขมันทั้งหมดในอาหาร การศึกษาในช่วงที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ในแหล่งอาหารซึ่งเป็นแหล่งที่มาของกรดไขมันชนิดทรานส์ เช่น ไขมัน

ที่ได้จากกระบวนการ hydrogenation และน้ำมันพืช เป็นต้น สำหรับน้ำมันพืชมีการศึกษาในน้ำมันปาล์ม น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันรำข้าว ชนิดน้ำมันละ 3 ยี่ห้อ ยกเว้นน้ำมันรำข้าวมี 2 ยี่ห้อ ซื้อตัวอย่างมายี่ห้อละ 3 ขวด แล้วนำน้ำมันจากทั้ง 3 ขวดมาผสมรวมกันเป็นยี่ห้อละ1 ตัวอย่าง พบว่าน้ำมันปาล์ม น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันรำข้าว มีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ระหว่าง 0.1-0.4 % 0.2-0.9 % 0.74-1.55 % 0.2-1.6 % และ 0-0.8 % ตามลำดับ องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดทรานส์จะแปรผันในระหว่างยี่ห้อของน้ำมันแต่ละชนิด อาจเป็นเพราะภาวะที่ใช้ในกระบวนการกำจัดกลิ่นแตกต่างกันในระหว่างบริษัทผู้ผลิตน้ำมันพืช โดยในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวจะพบไอโซเมอร์ของ C18:2c9t12 เท่านั้น สำหรับน้ำมันดอกทานตะวัน 1 ยี่ห้อ น้ำมันข้าวโพด 2 ยี่ห้อ และน้ำมันถั่วเหลือง 2 ยี่ห้อ จะพบไอโซเมอร์ของ C18:2t9t12 และ C18:2c9t12 กรดไขมันชนิดทรานส์ที่พบส่วนใหญ่จะเป็น C18:2c9t12 มากกว่า C18:2t9t12 ยกเว้นในน้ำมันดอกทานตะวัน ไอโซเมอร์หลักของกรดไขมันชนิดทรานส์ คือ C18:2c9t12 พบระหว่าง 43-100 % ของกรดไขมันชนิดทรานส์ทั้งหมดในน้ำมันพืช ในขณะที่จะไม่พบ C16:1t และ C18:1t ในน้ำมันพืชทุกชนิด ในการศึกษาของ Pinkaew (2002) ไม่ได้วิเคราะห์กรดไขมันชนิดทรานส์ของ C18:3 เพราะมีข้อจำกัดด้านเครื่องมือ จึงทำให้ผลที่ได้จากการศึกษาอาจจะมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์น้อยกว่าความเป็นจริง น้ำมันปาล์มจะมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงที่สุดอยู่ที่ 43.6 $\pm$ 1.1 % โดยมีกรดปาล์มิติก (C16:0) อยู่สูงเท่ากับ 38.2 $\pm$ 1.1 % และน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงที่สุดอยู่ที่ 59 $\pm$ 2.1 % ส่วนใหญ่เป็นกรดลิโนเลอิก (C18:2c9c12) เท่ากับ 52 $\pm$ 1.3 % ปริมาณของกรดไขมันชนิดทรานส์ที่พบในตัวอย่างอาหารในประเทศไทยมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลในต่างประเทศ แต่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าและกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าในต่างประเทศเนื่องจากวัตถุดิบและกระบวนการผลิตต่างกัน ความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ในอาหารชนิดเดียวกันเป็นผลมาจากไขมันที่ใช้ในการผลิตมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์แตกต่างกัน โดยทั่วไปกรดไขมันชนิดทรานส์จะเกิดขึ้นในน้ำมันบริโภคในระหว่างขั้นตอนทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ

Aro และคณะ (1998) ศึกษาปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ในน้ำมันพืชสำหรับบริโภคที่วางจำหน่ายในทวีปยุโรป 14 ประเทศ พบว่าจะมีกรดไขมันชนิดทรานส์ของ C18:1 C18:2 และ C18:3 อยู่ในน้ำมันพืชทั้งหมด โดยน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์น้อยกว่า 1 % โดยน้ำมันถั่วเหลืองที่เก็บตัวอย่างจากประเทศไอซแลนด์ เนเธอร์แลนด์ และโปรตุเกส จะพบกรดไขมันชนิดทรานส์ 0.40 % 0.63 % และ 0.86 % ตามลำดับ และในน้ำมัน

ถั่วเหลืองจะมีกรดไขมันชนิดทรานส์ของ C18:2 มากกว่า C18:1 และจะพบกรดไขมันชนิดทรานส์ของ C18:3 ด้วย การที่น้ำมันพืชชนิดเดียวกันมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตน้ำมันพืช

Medina-Juarez และคณะ (2000) ศึกษาปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ในน้ำมันพืชของประเทศเม็กซิโก พบว่าปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดลิโนเลนิก (C18:3) จะสูงมากกว่าปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดลิโนเลอิก (C18:2) ในขณะที่ไม่พบกรดไขมันชนิดทรานส์ของกรดโอเลอิก (C18:1)

Ratnayake และ Zehaluk (2005) รายงานว่าน้ำมันพืชจะมีกรดไขมันชนิดทรานส์ปริมาณเล็กน้อยซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (ตารางที่ 2.3)

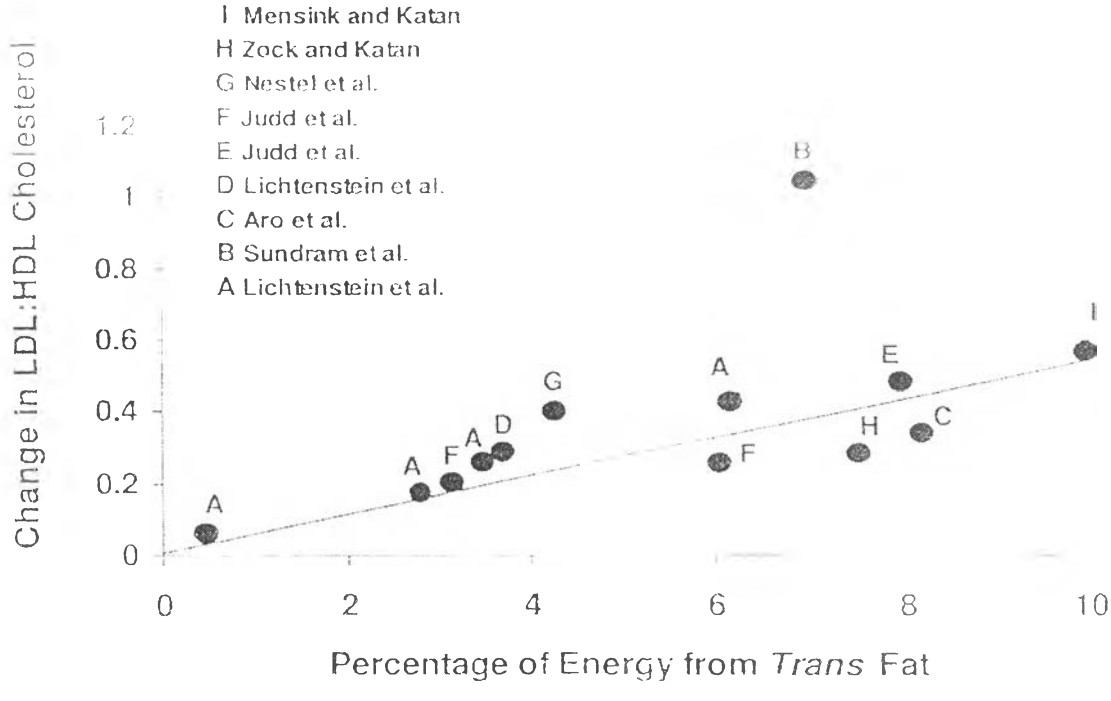
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดทรานส์ในน้ำมันพืชสำหรับบริโภคบางชนิด

กรดไขมันชนิดทรานส์	คาโนลา	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ดอกทานตะวัน	ดอกคำฝอย	รำข้าว	มะพร้าว	มะกอก
	(% ของกรดไขมันทั้งหมด)							
9t-18:1	-	0.04	-	0.03	0.03	0.08	0.17	-
9t,12t-18:2	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-
9c,12t-18:2	0.2	0.35	0.2	0.26	0.38	0.34	0.02	0.05
9t,12c-18:2	0.18	0.31	0.15	0.2	0.3	0.3	-	-
9t,12c,15t-18:3	0.09	0.04	0.04	0.02	-	0.03	-	-
9c,12c,15t-18:3	0.94	0.55	-	0.1	-	0.15	-	-
9c,12t,15c-18:3	0.16	0.09	-	0.02	-	0.02	-	-
9t,12c,15c-18:3	0.84	0.5	0.08	0.1	0.02	0.14	-	-
$\sum$ trans FA	2.42	1.89	0.47	0.74	0.73	1.06	0.19	0.05

ที่มา : Ratnayake และ Zehaluk (2005)

2.3.5 ผลของการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ต่อสุขภาพ

Pinkaew (2002) รายงานว่าการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์มีผลต่ออัตราส่วนของ LDL:HDL และมีผลต่อความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โดยผลการศึกษาจากทั่วโลกในระหว่าง 10 ปีที่ผ่านมา (ณ ปีที่อ้าง) พบว่าการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่าง LDL:HDL โดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (รูปที่ 2.6) และไอโซเมอร์ของ C18:2t9t12 ยังแสดงผลขัดขวางกระบวนการสร้างและสลายกรดลิโนเลอิก นอกจากนี้ geometrical isomer และ positional isomer อื่นๆ ของ C18:2 ยังมีปฏิกิริยาต่อกระบวนการสร้างและสลายกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย



รูปที่ 2.6 ผลของการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ต่ออัตราส่วนของ LDL cholesterol และ HDL cholesterol

ที่มา : Pinkaew (2002)

วราพร ลักษณลม้าย และ เบญจรัก วายุภาพ (2547) รายงานว่ากรดไขมันชนิดทรานส์พบได้ตามธรรมชาติในอาหารบางชนิด เช่น เนื้อสัตว์ เนย นม และในน้ำมันพืชที่ผ่านกรรมวิธี ไฮโดรจิเนชัน มีงานวิจัยจำนวนมากที่พบความสัมพันธ์ระหว่างการรับประทานกรดไขมันชนิดทรานส์กับการเพิ่มปริมาณ low density lipoprotein (LDL) cholesterol และลดปริมาณ high density lipoprotein (HDL) cholesterol ซึ่งทำให้เพิ่มปัจจัยเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ และยังมีผลทำให้เซลล์สมองเปลี่ยนไปทำให้การทำงานของสมองเสื่อมลง นอกจากนั้นยังมีส่วนทำให้การสลายตัวของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายผิดปกติอีกด้วย

Aro และคณะ (1998) รายงานว่าการรับประทานกรดไขมันชนิดทรานส์มีผลต่อ serum lipoproteins และมีความเป็นไปได้ที่จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงในการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน

2.3.6 ปริมาณการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์

Pinkaew (2002) รายงานว่าในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ.1986 มีปริมาณการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ที่ 7.6 g/วัน/คน และในปี ค.ศ.1989 ปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้นเป็น 8.1 g/วัน/คน เพราะมีการใช้ไขมันที่ได้จากกระบวนการ hydrogenation แทนไขมันจากสัตว์ในการทอดอาหาร สำหรับประเทศเดนมาร์ก ในปี ค.ศ.1991 ปริมาณการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ที่ 5.0 g/วัน/คน และในประเทศสก็อตแลนด์ผู้ชายจะบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ที่ 3.3-12.7 g/วัน ผู้หญิงจะบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ที่ 2.7-11.7 g/วัน

2.3.7 คำแนะนำในการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ (Hunter, 2005)

องค์กรผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพของประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศในทวีปยุโรป และประเทศญี่ปุ่น แนะนำให้ลดการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ โดยกำหนดให้บริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์อยู่ที่ 1-2 % ของพลังงาน (ตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5)

การบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ประมาณ 4 % ของพลังงานหรือสูงกว่าจะทำให้ระดับ LDL-Cholesterol สูงขึ้น และถ้าบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ประมาณ 5-6 % ของพลังงานหรือสูงกว่าจะทำให้ระดับ HDL-Cholesterol ลดลง

ตารางที่ 2.4 ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดทรานส์ โดยองค์กรผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพของประเทศสหรัฐอเมริกา

องค์กร	กรดไขมันชนิดอิ่มตัว	กรดไขมันชนิดทรานส์
American Heart Association	<10 % energy (population) <7 % energy (at risk)	Limit so total of cholesterol-raising fatty acids <10 % energy
Adult Treatment Panel III of the National Cholesterol Education Program	<7 % energy (at risk)	Keep intake low
Health and Human Services/US Department of Agriculture	<10 % energy (population)	Low as possible
Institute of Medicine of the National Academy of Sciences	Low as possible	Low as possible

ที่มา : Hunter (2005)

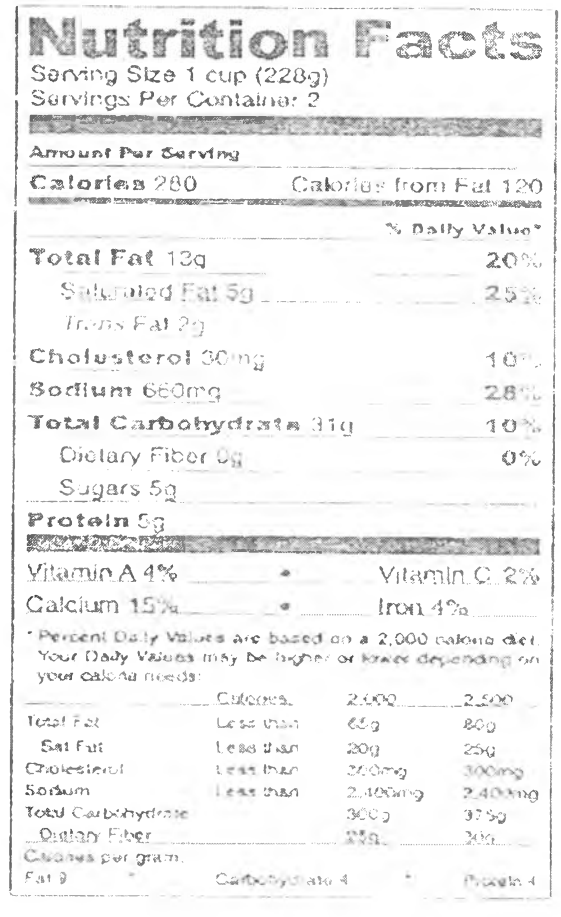
ตารางที่ 2.5 ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดทรานส์ โดยองค์กรผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพของประเทศต่างๆ

องค์กร	กรดไขมันชนิดอิ่มตัว	กรดไขมันชนิดทรานส์
Health Council of The Netherlands	Low as possible, Upper Limit 10 % energy	Low as possible, Upper Limit 1 % energy
Health Canada	<10 % energy	
Ministry of Agriculture, UK	<10 % energy	<2 % energy
Austria, Germany, Switzerland	<10 % energy	
Japan	6-8 % energy	
World Health Organization/Food and Agricultural Organization of the United Nations	<10 % energy; <7 % energy for high risk groups	<1 % energy

ที่มา : Hunter (2005)

2.3.8 กฎหมายเกี่ยวกับกรดไขมันชนิดทรานส์ในอาหาร

Food and Drug Administration (FDA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ออกกฎหมาย "Food labeling: Trans fatty acids in nutrition labeling, nutrient content claims, and health claims" กำหนดให้ระบุปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์บนฉลากโภชนาการของอาหาร (รูปที่ 2.7) ที่จำหน่ายในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 1 มกราคม 2549 ในกรณีที่อาหารมีปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ต่ำกว่า 0.5 g/serving ให้ระบุว่ามีปริมาณ trans fat 0 g per serving (Schrimpf-Moss และ Wilkening, 2005)


Nutrition Facts
Serving Size 1 cup (228g)
Servings Per Container 2
Amount Per Serving
Calories 280 Calories from Fat 120
% Daily Value*
Total Fat 13g 20%
Saturated Fat 5g 25%
Trans Fat 2g
Cholesterol 30mg 10%
Sodium 660mg 28%
Total Carbohydrate 31g 10%
Dietary Fiber 0g 0%
Sugars 5g
Protein 5g
Vitamin A 4% • Vitamin C 2%
Calcium 15% • Iron 4%
* Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your Daily Values may be higher or lower depending on your calorie needs:
Calories 2,000 2,500
Total Fat Less than 65g 80g
Sat Fat Less than 20g 25g
Cholesterol Less than 300mg 300mg
Sodium Less than 2,400mg 2,400mg
Total Carbohydrate 300g 375g
Dietary Fiber 25g 30g
Calories per gram:
Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างฉลากโภชนาการที่มีการแสดงปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์

ที่มา : Schrimpf-Moss และ Wilkening (2005)

2.4 โทโคฟีรอล หรือ วิตามินอี

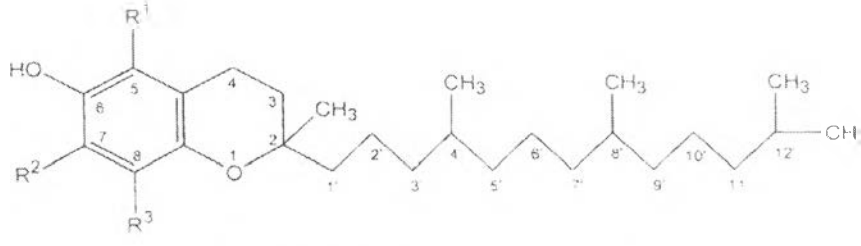
วิตามินอีถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1922 โดย Evans และ Bishop ซึ่งทำการทดลองกับหนูเพศเมีย พบว่าสารสำคัญชนิดหนึ่งซึ่งยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นสารอะไรมีผลควบคุมการตั้งครรภ์ในหนูให้เป็นไปตามปกติ ถ้าหนูไม่ได้รับสารนี้อย่างเพียงพอหนูจะตั้งครรภ์ได้แต่จะแท้งลูก หลังจากค้นพบจึงตั้งชื่อสารดังกล่าวว่าวิตามินที่ป้องกันการเป็นหมัน (antisterility vitamin) ต่อจากนั้นในปี ค.ศ.1936 Evans และคณะ สามารถสกัดและแยกวิตามินอีได้จากน้ำมันจมูกข้าวสาลี (wheat germ oil) และตั้งชื่อว่าโทโคฟีรอล (tocopherol) ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษากรีกคำว่า tocos ซึ่งแปลว่าบุตร และ phero ซึ่งแปลว่าให้กำเนิด หลังจากนั้นจนถึงปัจจุบันสามารถพบสารอนุพันธ์ของวิตามินอีได้ทั้งหมด 8 ชนิดโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ชนิด กลุ่มแรกเป็นโทโคฟีรอล โดยมีอนุพันธ์แบ่งเป็น แอลฟา-โทโคฟีรอล (alpha-tocopherol; α-T) บีตา-โทโคฟีรอล (beta-tocopherol; β-T) แกมมา-โทโคฟีรอล (gamma-tocopherol; γ-T) และเดลตา-โทโคฟีรอล (delta-tocopherol; δ-T) อีกกลุ่มเป็นโทโคไตรอีนอล (tocotrienol) แตกต่างจากโทโคฟีรอลตรงหมู่แทนที่ด้านข้างซึ่งเป็นหมู่ไฟทอล (phytol group) จะมีพันธะคู่เพิ่มขึ้นมาอีก 3 แห่งที่ตำแหน่ง 3′, 7′ และ11′ โดยมีอนุพันธ์แบ่งเป็นแอลฟา-โทโคไตรอีนอล (α-tocotrienol; α-T3) บีตา-โทโคไตรอีนอล (β-tocotrienol; β-T3) แกมมา-โทโคไตรอีนอล (γ-tocotrienol; γ-T3) และเดลตา-โทโคไตรอีนอล (δ-tocotrienol; δ-T3) (วราพร พงศ์ธรกุลพานิช, 2543)

โทโคฟีรอลหรือวิตามินอีเป็นสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติ และเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญในน้ำมันพืช วิตามินอีที่พบในเมล็ดพืชน้ำมันมีอยู่ 4 ชนิด คือ แอลฟา-โทโคฟีรอล บีตา-โทโคฟีรอล แกมมา-โทโคฟีรอล และ เดลตา-โทโคฟีรอล โดย แอลฟา-โทโคฟีรอลจะมีประสิทธิภาพในการเป็นวิตามินอีมากที่สุด (α-T>β-T>γ-T>δ-T) ในขณะที่ เดลตา-โทโคฟีรอล และ แกมมา-โทโคฟีรอล จะมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันพืชที่มีประสิทธิภาพมากกว่า แอลฟา-โทโคฟีรอล (δ-T>γ-T>β-T>α-T) และมีงานวิจัยที่พบว่าแกมมา-โทโคฟีรอล สามารถป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ในน้ำมันดอกทานตะวันในระหว่างการทอดอาหาร (Medina-Juarez และคณะ, 2000)

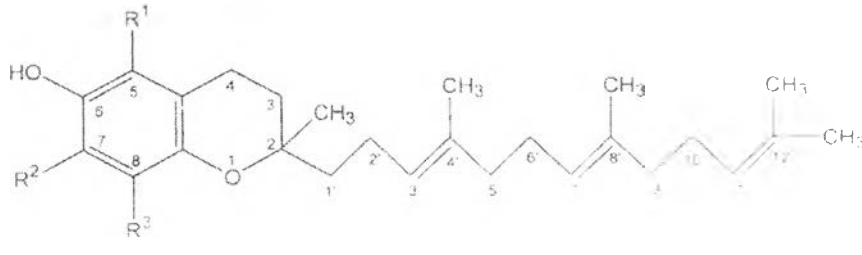
2.4.1 โครงสร้างของวิตามินอี

วิตามินอีประกอบไปด้วยส่วนหัวซึ่งเป็นส่วนมีขั้วเรียกว่าวงแหวนโครแมน (chroman ring) และที่ตำแหน่งอะตอมคาร์บอนที่ 2 จะมีหมู่แทนที่ด้านข้างซึ่งเป็นส่วนไม่มีขั้วได้มาจากหมู่ไฟทอลซึ่งเป็นสายโซ่ของคาร์บอนยาว 16 อะตอมและจับกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด อนุพันธ์ของวิตามินอีชนิด แอลฟา (α), บีตา (β), แกมมา (γ) และเดลตา (δ) ทั้งของกลุ่มโทโคฟีรอลและ

โทโคไตรอีนอลมีความแตกต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่เมทิล (methyl group) ที่เกาะอยู่บนวงแหวนโครแมน เช่น แอลฟา-โทโคฟีรอล จะมีหมู่เมทิลเกาะอยู่ที่ตำแหน่ง R1 และ R2 ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลอยู่ที่หมู่แทนที่ด้านข้างซึ่งโทโคไตรอีนอลจะมีพันธะคู่เพิ่มขึ้นมาอีก 3 แห่งที่ตำแหน่ง 3′, 7′ และ 11′ (รูปที่ 2.8) (Eitenmiller และ Lee, 2004)



$R^1 = R^2 = R^3 = H$	Tocol
$R^1 = R^2 = R^3 = CH_3$	α Tocopherol
$R^1 = R^3 = CH_3, R^2 = H$	β-Tocopherol
$R^1 = H; R^2 = R^3 = CH_3$	γ-Tocopherol
$R^1 = R^2 = H; R^3 = CH_3$	δ-Tocopherol



$R^1 = R^2 = R^3 = H$	Tocotrienol
$R^1 = R^2 = R^3 = CH_3$	α-Tocotrienol
$R^1 = R^3 = CH_3, R^2 = H$	β-Tocotrienol
$R^1 = H; R^2 = R^3 = CH_3$	γ-Tocotrienol
$R^1 = R^2 = H; R^3 = CH_3$	δ-Tocotrienol

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล

ที่มา : Eitenmiller และ Lee (2004)

2.4.2 ลักษณะทางกายภาพของวิตามินอี

วิตามินอีมีลักษณะเป็นน้ำมันข้นหนืด สีเหลือง ละลายได้ดีในไขมัน มีสูตรโมเลกุล $C_{29}H_{50}O_2$ มีน้ำหนักโมเลกุล 430 วิตามินอีมีความคงตัวดีต่อกรด แต่ไม่ทนต่อด่าง แสงอัลตราไวโอเลต (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

2.4.3 ประโยชน์ของวิตามินอี

ภานุวัฒน์ ยีหวังเจริญ (2544) รายงานประโยชน์ของวิตามินอีไว้ดังนี้

2.4.3.1 เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

วิตามินอีมีหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยป้องกันไม่ให้เพอร์ออกไซด์ (peroxide) ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในโมเลกุลของลิพิดที่ผนังเมมเบรนของเซลล์เยื่อหุ้มเซลล์โดยทั่วไปประกอบด้วยฟอสโฟลิพิดซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวแตกออกจากกันและเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ถ้าไม่มีสารต้านออกซิเดชันมาขัดขวางปฏิกิริยาลูกโซ่เยื่อหุ้มเซลล์จะอ่อนแอหลุดออกจากกัน เซลล์แตกแยกออกจากกัน เม็ดเลือดแดงจะอายุสั้นและแตกง่าย เนื้อเยื่อถูกทำลายหรือเสื่อมสภาพไปจากธรรมชาติ เมื่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเยื่อหุ้มเซลล์บ่อยๆ และเป็นเวลานานอาจเกิดมะเร็งหรือก้อนเนื้อร้ายขึ้นมาได้ ดังนั้นวิตามินอีจึงมีบทบาทสำคัญยิ่งที่จะกำจัดอนุมูลอิสระและป้องกันกระบวนการทำลายเซลล์ที่เกิดต่อเนื่องได้ โดยจะเปลี่ยนจากโทโคฟีรอลไปเป็น tocopherol semiquinone radical ที่ไม่เป็นอันตราย นอกจากนี้วิตามินอียังช่วยป้องกันกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะราคิโดนิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายไม่ให้ถูกทำลาย และวิตามินอียังช่วยเสริมฤทธิ์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในการลดคอเลสเตอรอลในซีรัมอีกด้วย

2.4.3.2 ป้องกันการทำลายของเม็ดเลือดแดงในทารกที่คลอดก่อนกำหนด

ในทารกขาดวิตามินอีเนื่องจากการดูดซึมในลำไส้ไม่ดี อาจทำให้เม็ดเลือดแดงแตกและเกิดโลหิตจางได้ โดยเฉพาะในเด็กที่คลอดก่อนกำหนดหรือน้ำหนักตัวตอนคลอดน้อยกว่า 1,500 กรัม แพทย์จึงให้วิตามินอีแก่เด็กเหล่านี้เพื่อเป็นการป้องกัน รวมทั้งการให้วิตามินอีแก่มารดาขณะตั้งครรภ์และให้นมลูกด้วย นอกจากนี้การให้วิตามินอียังป้องกันอาการตาบอดเนื่องจากมีเลือดออกและมีเซลล์ผังพืดเพิ่มมากขึ้นในลูกตา ป้องกันความผิดปกติของเซลล์ในปอดและหลอดลมของเด็ก และรักษาการอักเสบของลำไส้ใหญ่ของเด็กคลอดใหม่แต่น้ำหนักตัวน้อยอีกด้วย การได้รับนมหรืออาหารที่มีไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มมากขึ้นความต้องการของวิตามินอีจะเพิ่มสูงกว่าปกติด้วย

2.4.3.3 ช่วยการทำงานของหัวใจและหลอดเลือด

วิตามินอีทำให้หัวใจต้องการออกซิเจนน้อยลง หัวใจทำงานได้มากขึ้น ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลที่อาจไปอุดตันหลอดเลือดซึ่งส่งไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจได้ มีการนำวิตามินอีมารักษาอาการเจ็บปวดที่หัวใจ (angina pectoris) รักษาโรคหลอดเลือดดำอักเสบเรื้อรัง และทำให้ลิ่มเลือดละลาย

2.4.3.4 เพิ่มสมรรถภาพของกล้ามเนื้อและอวัยวะภายใน

วิตามินอีป้องกันกล้ามเนื้อไม่ให้เหี่ยวลีบหรือเล็กลง เพิ่มสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ การขาดวิตามินอีอาจทำให้ตับอ่อนอักเสบ อุจจาระออกมาเป็นไขมันเพราะขาดเอนไซม์ไลเปส ทำให้ไตลีบเล็กลงและอักเสบได้

2.4.3.5 รักษาและป้องกันการเป็นหมันและการแท้ง

ในสัตว์ทดลองการขาดวิตามินอีจะทำให้เยื่อบุผิวเสื่อมสภาพ จึงทำให้สัตว์เพศผู้เป็นหมันและสัตว์เพศเมียแท้งลูก การให้ผู้ชายกินวิตามินอีจะเพิ่มการสร้างอสุจิและเพิ่มปริมาณของอสุจิและหายจากการเป็นหมันได้ และทำให้ผู้หญิงมีโอกาสตั้งครรภ์ได้มากขึ้นด้วย ปริมาณการกินวิตามินอีต้องกินวันละ 200 มิลลิกรัม เป็นเวลาอย่างน้อย 1 เดือนจึงจะได้ผล

2.4.3.6 รักษาสภาพและเพิ่มภูมิคุ้มกัน

การรับประทานวิตามินอีและวิตามินซีจะส่งเสริมภูมิต้านทานของร่างกายให้ดียิ่งขึ้น ภูมิคุ้มกันที่บกพร่องอาจนำไปสู่การเกิดมะเร็งได้ง่าย ดังนั้นวิตามินอีจึงมีส่วนป้องกันโรคมะเร็งโดยทางอ้อม วิตามินซีเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกายโดยการทำให้วิตามินอีสะสมอยู่ในเซลล์มากขึ้น

2.4.3.7 ชะลอความแก่ตามวัย

วิตามินอีทำให้เซลล์แก่ช้าลงหรือมีอายุนานมากกว่าเดิม เพราะวิตามินอีป้องกันปฏิกิริยา lipid peroxidation หลักฐานทางชีวเคมีของความชราภาพ คือ การเพิ่มสารรงควัตถุ เช่น lipofuscin ตามผิวหนัง ใบหน้า ความหยาบกร้าน ความเหี่ยวย่น และริ้วรอยต่างๆ แสดงว่าเซลล์เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation และมีการสะสมสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา lipid peroxidation มากขึ้นเรื่อยๆ กระบวนการเดียวกันนี้อาจเกิดที่เนื้อเยื่อ ระบบประสาทและอวัยวะสำคัญ จึงทำให้สมรรถภาพของกล้ามเนื้อและอวัยวะลดลงจากเดิม

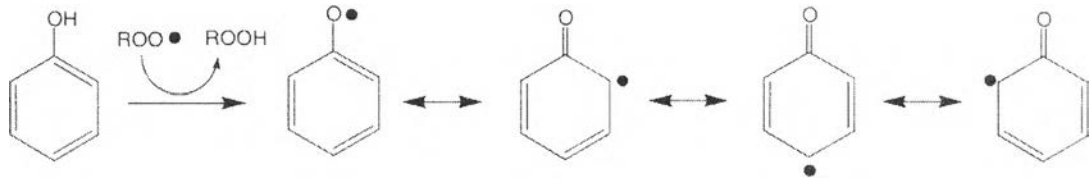
เมอร์วิน (2537) รายงานว่าวิตามินอียังช่วยป้องกันวิตามินเอ และสารอาหารอื่นๆ ไม่ให้ถูกทำลายโดยออกซิเจนในร่างกาย และวิตามินอียังช่วยขยายผนังเส้นเลือดฝอยและเส้นเลือดเพื่อให้เลือดไหลไปยังเนื้อเยื่อทุกส่วนของร่างกายและระบบประสาทได้อย่างสะดวก ช่วยลด

ปริมาณความต้องการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ ลดความเจ็บปวดและอาการหอบเหนื่อยลง ป้องกันไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อนแข็ง ป้องกันการเกิดรอยแผลเป็น กระตุ้นให้ปัสสาวะซึ่งมีประโยชน์ในการรักษาผู้ป่วยโรคหัวใจและมีอาการบวม ช่วยให้ผนังเส้นเลือดฝอยที่ไปเลี้ยงหัวใจแข็งแรง ช่วยในการหมุนเวียนของโลหิต นำพลังงานไปสู่เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อเพื่อช่วยผ่อนคลายความเหนื่อยล้าหรืออาการเป็นตะคริวโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ ช่วยการทำงานของอินซูลิน ช่วยในการสร้างผิวหนังใหม่ ช่วยให้รอยแผลเป็นอ่อนตัวลงและปรับสีผิว ลดการปูดโปนของรอยแผลเป็น รักษาเส้นเลือดขอด รักษาแผลกดทับ และใช้วิตามินอีร่วมในการรักษาโรคหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง โรคตับ โรคไต และแผลไฟไหม้ เป็นต้น

2.4.4 กลไกการทำงานของวิตามินอี

2.4.4.1 กลไกการทำงานในระบบของสิ่งมีชีวิต (วราพร พงศ์ธรกุลพานิช, 2543)

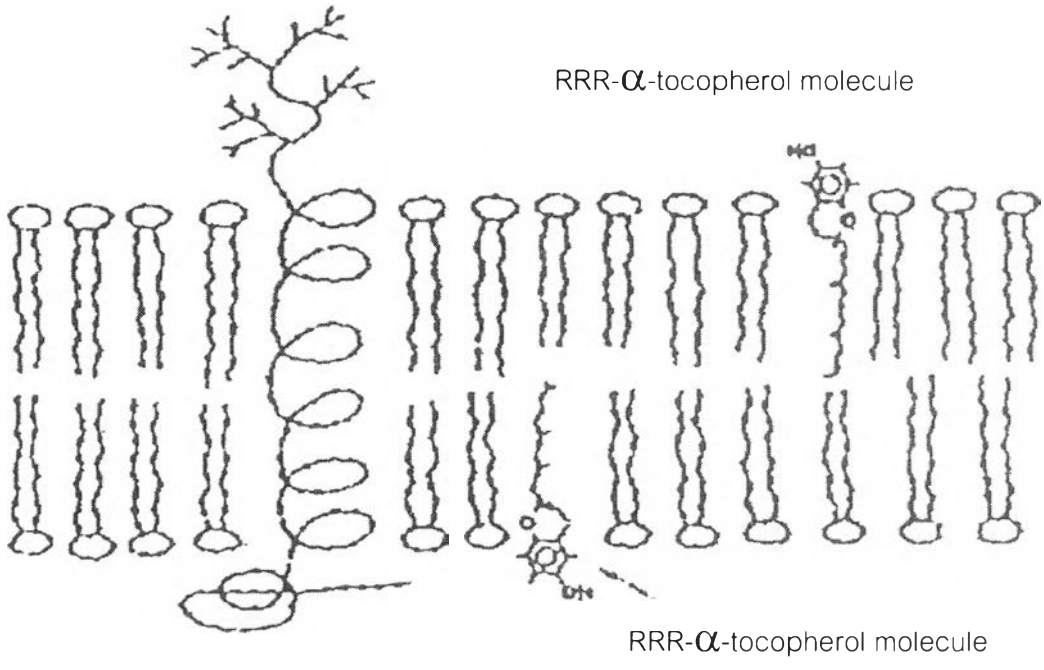
วิตามินอีจะทำหน้าที่ให้อิเลคตรอนแก่อนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้น ทำให้อนุมูลอิสระหมดความว่องไวในการทำอันตรายสารชีวโมเลกุลอื่นๆ หลังจากนั้นตัววิตามินอีเองจะเกิดเป็นอนุมูลวิตามินอี (vitamin E radical) ที่เสถียรมากกว่า การที่โมเลกุลของอนุมูลวิตามินอีมีความเสถียรทั้งนี้เนื่องจากความเสถียรของปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ (resonance stabilization) (รูปที่ 2.9) โดยอิเลคตรอนอิสระที่เกิดขึ้นที่หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) สามารถเคลื่อนที่ (localization) เข้าไปในวงแหวนเบนซิน ได้อนุมูลของวิตามินอีที่เป็นเรโซแนนซ์กันทั้งหมด 4 รูปแบบ ซึ่งเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาตลอดเวลา ทำให้พลังงานของโมเลกุลลดลง อนุมูลวิตามินอีจึงมีความเสถียร



รูปที่ 2.9 ความเสถียรของปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ของอนุมูลสารต้านออกซิเดชัน
ที่มา : Choe และคณะ (2005)

วิตามินอีโดยเฉพาะแอลฟา-โทโคฟีรอลมีประสิทธิภาพดีที่สุดในเนื้อเยื่อเมมเบรนของสิ่งมีชีวิต (in vivo) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างที่เหมาะสมของวิตามินอีที่มีทั้งส่วนมีขั้วและไม่มีขั้วในโมเลกุล ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับฟอสโฟลิพิดที่เป็นองค์ประกอบหลักใน lipid bilayer membrane (รูปที่ 2.10) ทำให้วิตามินอีสามารถอยู่ร่วมกับเนื้อเยื่อผนังเมมเบรนได้อย่างกลมกลืน

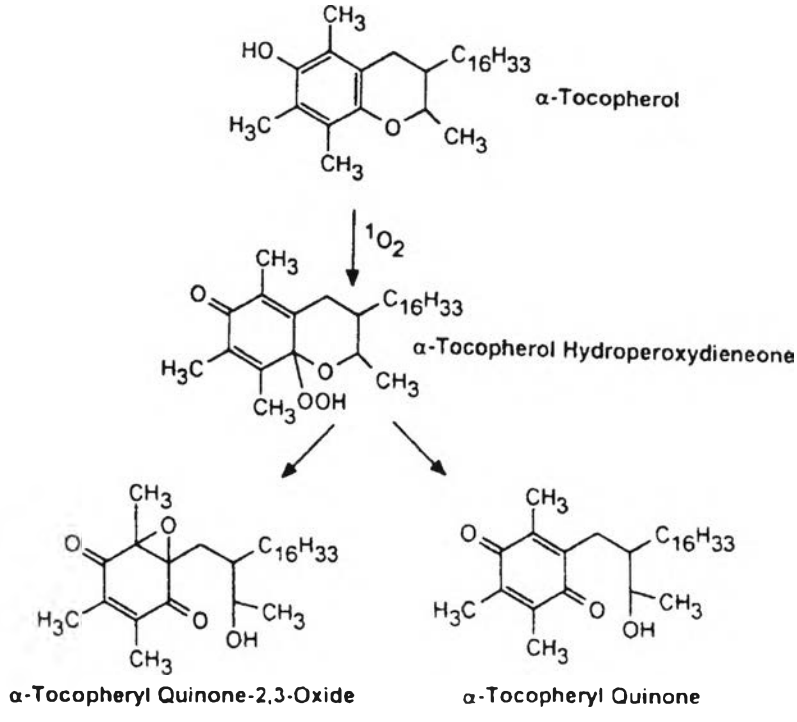
เหมาะสมและทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระที่จะเข้ามาโจมตีเนื้อเยื่อได้ ยิ่งไปกว่านั้น วิตามินอียังทำงานร่วมกับสารต้านออกซิเดชันอื่นๆ ในเซลล์ เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระอย่างเป็นระบบ



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบของผนังเมมเบรนที่มีวิตามินอี
ที่มา : วราพร พงศ์ธรกุลพานิช (2543)

2.4.4.2 กลไกการทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันของวิตามินอีในอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

โทโคฟีรอลเป็นตัวให้อะตอมไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระหรืออนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical) ได้เป็นสารไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และอนุมูลแอลฟา-โทโคฟีริล (α-tocopheryl radical) ซึ่งอาจรวมตัวกันเองด้วยพันธะโคเวเลนต์เป็นโทโคฟีริลไดเมอร์และโทโคฟีริลไตรเมอร์ หรือเกิดออกซิเดชันและมีการเรียงตัวใหม่ได้เป็นโทโคฟีรอกไซด์ โทโคฟีริลไฮโดรควิโนน และโทโคฟีริลควิโนน (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาของวิตามินอีกับออกซิเจน
ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545)

2.4.5 **ภาวะการขาดวิตามินอี**

การขาดวิตามินอีเกิดจากการได้รับวิตามินอีจากอาหารน้อย หรือเกิดจากความบกพร่องของร่างกายในการดูดซึมไขมัน อาการที่สำคัญที่พบในคน คือ เม็ดเลือดแดงแตกและอาจทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง ระบบส่งกระแสประสาทบกพร่องในเซลล์ประสาท ทำให้การกระตุ้นกล้ามเนื้อให้ทำงานลดลง เมมเบรนของเม็ดเลือดแดงประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระได้ง่ายทำให้เม็ดเลือดแดงแตก วิตามินอีจะช่วยป้องกันโดยกำจัดอนุมูลอิสระ ในเด็กที่คลอดก่อนกำหนดการดูดซึมไขมันยังบกพร่องทำให้ได้รับวิตามินอีน้อยจึงมักพบมีเม็ดเลือดแดงแตก ในคนที่มีความผิดปกติทางพันธุกรรมที่ขาดโปรตีน Apo B ซึ่งเป็นโปรตีนขนส่งไขมันในเลือด จะทำให้ไขมันและวิตามินอีไม่ถูกส่งเข้าเซลล์ต่างๆ ซึ่งจะพบเม็ดเลือดแดงแตกมากเช่นกัน (นัยนา บุญทวียุวัฒน์, 2546)

ในผู้ที่ขาดวิตามินอีจะพบความผิดปกติของผิวหนังได้ คือ ผิวแห้ง แตก ลอกเป็นขุย เป็นผื่น ผิวหนังอักเสบโดยไม่ทราบสาเหตุ และทำให้ผิวแก่ก่อนวัย ทั้งนี้เพราะเมื่อร่างกายขาดวิตามินอี เซลล์จะถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ เกิดเป็นโรคต่างๆ เช่น การเสื่อมของเซลล์ผิวหนังก่อนวัยอันสมควร ทำให้เซลล์ผิวหนังตายหรือเสื่อมเร็วกว่าปกติ ดังนั้นผิวหนังที่เคยเต่งตึงอยู่เสมอจะสูญเสียความยืดหยุ่นไป แห้ง ลอกเป็นขุย ดูแก่ก่อนวัย (ภานุวัฒน์ ยีหวังเจริญ, 2544)

2.4.6 **คำแนะนำในการบริโภควิตามินอี**

โดยทั่วไปร่างกายไม่สามารถสร้างวิตามินอีได้ ดังนั้นในแต่ละวันผู้ใหญ่ควรได้รับวิตามินอี 3-6 ยูนิตสากล หรือประมาณ 4 มิลลิกรัม แต่ในกรณีที่ร่างกายได้รับอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากขึ้นร่างกายจะต้องการวิตามินอีมากขึ้น ถ้าเพิ่มกรดลิโนเลอิก 30-50% ในอาหาร ร่างกายควรจะได้รับวิตามินอีวันละ 25-30 มิลลิกรัม ถ้าบุคคลมีอาชีพหรือทำงานอยู่ในภาวะแวดล้อมที่มีมลพิษและสารก่อมะเร็งควรจะได้รับวิตามินอีเพิ่มขึ้นไปอีกจนถึงวันละ 200 มิลลิกรัม เพื่อชดเชยปริมาณของวิตามินอีที่ถูกใช้ไปมากนั่นเอง วิตามินอีถือว่าเป็นสารที่ปลอดภัยกว่าวิตามินเอ และวิตามินดีมาก ถึงแม้ว่าจะได้รับวิตามินอีในปริมาณสูงๆ ติดต่อกันหลายเดือนก็จะไม่มีอาการผิดปกติที่ร้ายแรงแต่อย่างใด เพราะวิตามินอีจะเข้าสู่ร่างกายประมาณ 30-40% เท่านั้น โดยวิตามินอีจะถูกดูดซึมในลำไส้เล็กและส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางอุจจาระ(ภานุวัฒน์ ยีหวังเจริญ, 2544)

คณะกรรมการอาหารและโภชนาการ สถาบันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้ได้รับในแต่ละวัน (recommended dietary allowances; RDAs) ของวิตามินอีไว้ โดยผู้ชายควรได้รับแอลฟา-โทโคฟีรอล ที่ 10 มิลลิกรัม และผู้หญิงควรได้รับแอลฟา-โทโคฟีรอลที่ 8 มิลลิกรัม (ซิลเวอร์แมน และคณะ, 2005)

2.4.7 **ความเป็นพิษของวิตามินอี**

วิตามินอีเป็นวิตามินที่มีพิษน้อยที่สุด ไม่มีรายงานความเป็นพิษของวิตามินอีเมื่อได้รับในปริมาณที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อวัน วิตามินอีในระดับสูงอาจมีผลต่อการออกฤทธิ์ของวิตามินเคในบางคนทำให้มีผลต้านทานการแข็งตัวของเลือด (anticoagulant effect) และยืดเวลาการเกิดเป็นลิ่มเลือด เมื่อได้รับวิตามินอีขนาด 400 ไอยูต่อวันหรือมากกว่าเป็นเวลานานจะมีผลทำให้มีความดันโลหิตสูง (hypertension) หลอดเลือดดำมีลิ่มเลือดอุดตันอักเสบและอ่อนล้าเป็นต้น ถ้าได้รับวิตามินอีขนาด 600 ไอยูต่อวันจะมีผลให้ระดับฮอร์โมนธัยรอยด์ลดลง และในผู้หญิงจะมีระดับไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมเพิ่มขึ้น (นพมาศ มนัสวรากุล, 2545)

2.4.8 แหล่งธรรมชาติของวิตามินอี

วิตามินอีในธรรมชาติพบมากในพืชใบสีเขียวซึ่งเป็นแหล่งสังเคราะห์วิตามินอี เมล็ดเป็นแหล่งสะสมวิตามินอีมากที่สุด พืชน้ำมันมักจะผลิตวิตามินอี เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ดอกคำฝอย ดอกทานตะวัน กะหล่ำ ฝ้าย ถั่วชนิดต่างๆ งา มะกอก และรำ ส่วนที่เป็นจมูกข้าวสาลี (wheat germ) เป็นส่วนที่มีวิตามินอีเข้มข้นมากกว่าส่วนที่เป็นแป้ง ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เช่น ไข่ นม เนย เนื้อ และตับ มีวิตามินอีน้อยมากเมื่อเทียบกับพืช ในน้ำมันพืชที่มีกรดลิโนเลอิกสูงจะมีปริมาณวิตามินอีสูงด้วย (ภานุวัฒน์ ยีหวังเจริญ, 2544)

Jung และคณะ (1989) รายงานว่าน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงจะมีปริมาณโทโคฟีรอลค่อนข้างมาก

สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินอีได้ จึงต้องได้รับจากอาหารที่รับประทานเข้าไป แต่สัตว์สามารถสะสมวิตามินอีได้ เช่น เก็บสะสมในไข่ ชั้นไขมันใต้ผิวหนัง เนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissues) น้ำนม ปริมาณวิตามินอีในพืชจะแปรผันค่อนข้างมาก ขึ้นกับชนิดของพืช สายพันธุ์ อายุ นอกจากนั้นอิทธิพลจากภาวะแวดล้อมภายนอกสามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณวิตามินอี เช่น แหล่งดิน ฤดูกาล สภาพอากาศ รวมทั้งการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และเวลาในการเก็บรักษาที่มากขึ้นทำให้ปริมาณวิตามินอีลดลง นอกจากนั้นขั้นตอนการผลิตและการแปรรูปผลิตภัณฑ์สามารถทำลายวิตามินอีได้เช่นกัน (วราพร พงศ์ธรกุลพานิช, 2543)

ในน้ำมันพืชจะมีวิตามินอีตามธรรมชาติมาก (ตารางที่ 2.6) ทำให้เกิดการหืนแบบ oxidative rancidity ได้ช้า วิตามินอีที่ได้จากธรรมชาติจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายและไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อนจึงมีการสูญเสียวิตามินอีในระหว่างกระบวนการทำน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์ และเมื่อนำน้ำมันไปใช้ทอดอาหารจะทำให้สูญเสียวิตามินอีอีกด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณวิตามินอีในน้ำมันพืชบางชนิดและผลิตภัณฑ์ไขมัน (mg/100 g)

อาหาร	ปริมาณ
น้ำมันถั่วเหลือง	90-280
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	80-110
น้ำมันดอกทานตะวัน	70
น้ำมันข้าวโพด	40-60
เนยเทียม	30-100
น้ำมันถั่วลิสง	20-59
น้ำมันมะกอก	3-30
น้ำมันมะพร้าว	3-8.5
โคโคบัตเตอร์	3-13
น้ำมันปาล์ม	2-50
เนย	1.7-4.2
ไขวัว	1
น้ำมันหมู	0.2-2.7

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545)

2.5 คุณภาพน้ำมันตามมาตรฐาน CODEX

Codex Alimentarius Commission ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพของน้ำมันพืชซึ่งใช้สำหรับการบริโภคของมนุษย์ไว้เพื่อใช้ในทางการค้า โดยมีคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันชนิดอื่นๆ ตามมาตรฐาน CODEX บางส่วนแสดงอยู่ในตารางที่ 2.7 (CODEX Stan 210, 1999)

ตารางที่ 2.7 มาตรฐาน CODEX สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันชนิดอื่นๆ

คุณภาพที่เป็นลักษณะเฉพาะ	ปริมาณสูงสุด
1. กรดไขมันอิสระ (free fatty acids)	0.3 % (acid value เท่ากับ 0.6 mg KOH/g oil)
2. ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value)	10 milliequivalents of active oxygen/kg oil
3. สารที่ระเหยได้ (volatile matter)	0.2 %
4. สี (color)	ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้
5. กลิ่นและรสชาติ (taste & odor)	ไม่มีสิ่งแปลกปลอมและไม่มีกลิ่นและรสชาติเหม็นหืน
6. โทโคฟีรอลทั้งหมด (total tocopherol)	252-3,627 mg/kg (ของน้ำมันถั่วเหลือง)
7. กรดไขมันชนิดทรานส์ (trans fatty acids)	ไม่ได้กำหนด
8. ดัชนีความเสถียรของน้ำมันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oil stability index; OSI)	ไม่ได้กำหนด

ที่มา : CODEX Stan 210 (1999)

2.6 การทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying)

2.6.1 ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหาร

2.6.1.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545) รายงานว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอาจเกิดขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น ขณะทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำสูง ไขมันหรือน้ำมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล

Moreira และคณะ (1999) แสดงการสลายตัวของไขมันด้วยปฏิกิริยาทางเคมีไปเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระดังสมการ

$$\text{triglyceride} + H_2O \longrightarrow \text{FFA} + \text{glycerol}$$

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นตรวจสอบโดยค่า free fatty acids (FFA)

2.6.1.2 ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation)

Moreira และคณะ (1999) รายงานว่าในระหว่างการทอดอาหารจะให้ความร้อนแก่น้ำมันในขณะที่มีอากาศอยู่ด้วย กระบวนการออกซิเดชันจะเกิดได้เร็วมาก ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในน้ำมันได้เป็น hydroperoxides ซึ่ง hydroperoxides จะสลายตัวต่อไป โดยปฏิกิริยา

ก) fission ได้เป็น alcohols, aldehydes, acids และ hydrocarbon

ข) dehydration ได้เป็น ketones

ค) การเกิด free radical ทำให้เกิด oxidized monomers, oxidative dimers และ polymers, trimers, epoxides, alcohols, hydrocarbons, nonpolar dimers, polymers

นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545) รายงานว่าการตรวจวิเคราะห์ว่าน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันมากน้อยเท่าใดโดยการหาค่าเพอร์ออกไซด์ (PV)

2.6.2 ความเสถียรของน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร

Mcsavage และ Trevisan (2001) รายงานว่าน้ำมันที่ใช้ทอดควรมีความเสถียรทางด้านเคมีที่ดี ความเสถียรทางด้านเคมีของน้ำมันถูกควบคุมโดยกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ 2 กระบวนการ คือ

2.6.2.1 Hydrolytic rancidity

เป็นกระบวนการ hydrolysis ในน้ำมันซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่มีน้ำอยู่ด้วยเป็นเวลานาน ester linkages ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จะแตกออกและเกิดเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระในระหว่างการทอดขึ้นกับผลของ ปริมาณน้ำจากอาหาร อุณหภูมิที่ใช้ทอดถ้าใช้อุณหภูมิสูงจะเกิดกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็ว และการสะสมของเศษอาหารในน้ำมัน สุดท้ายกลีเซอรอลจะเปลี่ยนไปเป็นอะโครเลอิน

2.6.2.2 Oxidative rancidity

Oxidative rancidity จะเกิดขึ้นในน้ำมันเมื่อออกซิเจนทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในสายโซ่ของกรดไขมันทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น แอลดีไฮด์ และคีโตน และสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ ซึ่งสารประกอบที่ระเหยไม่ได้นี้จะสะสมอยู่ในน้ำมันถ้าปฏิกิริยาออกซิเดชันยังคงเกิดขึ้นต่อไปสารประกอบที่ระเหยไม่ได้นี้จะเกิดเป็นพอลิเมอร์ การเกิดพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นในน้ำมันที่ใช้ทอดเกิดจากปฏิกิริยา polymerization ซึ่งทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นและทำให้น้ำมันเกิดฟองและทำให้อาหารเหม็นหืน

Normand และคณะ (2001) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเสถียรของน้ำมันคาโนลาชนิดต่างๆ ในระหว่างการทอดกับปริมาณโทโคฟีรอล การทดลองใช้ตัวอย่างน้ำมันคาโนลา 4 ชนิด คือ high-oleic และ low-linolenic canola oil (HOLLCO) high oleic canola oil (HOCO) regular canola oil (RCO) และ low linolenic canola oil (LLCO) ซึ่งมีปริมาณโทโคฟีรอล 893 mg/kg 601 mg/kg 565 mg/kg และ 468 mg/kg ตามลำดับ ใช้ปริมาณน้ำมันในการทอด 2 ลิตร ให้ความร้อนน้ำมันที่อุณหภูมิ 175±2 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง/วัน นาน 6 วัน เติมน้ำมันใหม่ในตอนเช้าของแต่ละวันเพื่อให้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 2 ลิตร ทอดมันฝรั่งเส้นในตอนเช้านาน 6 นาที และทอดในตอนเย็นนาน 6 นาที อัตราส่วนของมันฝรั่งเส้นต่อน้ำมันที่ใช้ทอดเท่ากับ 1:6 ผลการทดลองพบว่า HOLLCO และ RCO ซึ่งมีปริมาณโทโคฟีรอลสูงมีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นน้อยกว่า LLCO ซึ่งมีปริมาณโทโคฟีรอลน้อยกว่า

Goburdhun และคณะ (2000) ศึกษาคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการทอดมันฝรั่งซึ่งใช้เวลาในการทอด 7 นาทีต่อการทอด 1 ครั้ง และทอด chicken drumsticks ซึ่งใช้เวลาในการทอด 15 นาทีต่อการทอด 1 ครั้ง ทอดที่อุณหภูมิน้ำมันเท่ากับ 180 °C อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 315 นาที รวมทอดอาหารทั้งหมด 13 ครั้งต่อชนิดอาหาร โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ อัตราส่วนของปริมาณอาหารต่อน้ำมันอยู่ที่ 1:6 เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอดทุกๆ 45 นาที รวมมีตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอดทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ประเมินคุณภาพน้ำมันโดยตรวจสอบค่าเพอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ และสี เป็นต้น พบว่าเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้นน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดมันฝรั่งจะมีค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอด chicken drumsticks ค่าเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นในการทอด 45 นาทีแรกหลังจากนั้นค่าเพอร์ออกไซด์จะลดลง เนื่องจากค่าเพอร์ออกไซด์เป็นการวัดปริมาณ peroxides หรือ hydroperoxides ที่มีอยู่ในน้ำมันถั่วเหลือง และใช้ในการหาปริมาณ primary oxidation products ในน้ำมันซึ่งตรวจสอบได้ในระหว่างขั้นตอนแรกของปฏิกิริยา oxidation การที่ค่าเพอร์ออกไซด์ในการทอดมันฝรั่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิกอยู่สูง ซึ่งสามารถถูก oxidized อย่างรวดเร็วและเกิดเป็นสาร hydroperoxides สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอด chicken drumsticks มีค่าเพอร์ออกไซด์ลดลง โดยน้ำมันในช่วงแรกจะอยู่ในขั้นการเกิดสาร hydroperoxide ส่งผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์สูงขึ้นในช่วง 45 นาทีแรก สำหรับช่วงที่ค่าเพอร์ออกไซด์ลดลงจะเป็นขั้นตอนที่สาร hydroperoxide สลายตัว โดย hydroperoxides เป็นสารซึ่งไม่เสถียรจะแตกตัวเป็น secondary products ตัวอื่น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา non-enzymatic browning ยังมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ด้วย ปริมาณ hydroperoxides

ในน้ำมันจึงลดลง อย่างไรก็ตามค่าเพอร์ออกไซด์อย่างเดียวไม่สามารถใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดว่ายังสามารถใช้ทอดอาหารได้ต่อไปหรือไม่ สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้นน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดมันฝรั่ง และ chicken drumsticks จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น กรดไขมันอิสระจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน (rancidity) ในน้ำมันพืช ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถใช้เป็นตัวบอกสภาพของน้ำมันว่ายังใช้บริโภคได้หรือไม่ การที่ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำมันเกิดปฏิกิริยา hydrolysis โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลมากกว่า 1 คู่ เช่น monoglycerides และ diglycerides ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ได้แก่ ผลของปฏิกิริยา hydrolysis และ oxidation ในระหว่างการทอด และการสะสมของ non-volatile decomposition products (NVDPs) ในน้ำมันเป็นปริมาณมาก เนื่องจากมันฝรั่งมีปริมาณความชื้นสูง (มากกว่า 80 % ของน้ำหนัก) ทำให้น้ำมันสามารถเกิดกรดไขมันอิสระโดยปฏิกิริยา hydrolysis ด้วยอัตราที่เร็วพอสมควรในระหว่างการทอด หลังจากทอดครบ 315 นาทีน้ำมันที่ใช้ทอดมันฝรั่งและใช้ทอด chicken drumsticks ยังคงมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าช่วง 0.5-0.8% ซึ่งแสดงว่าน้ำมันยังสามารถใช้ทอดต่อไปได้อีก สำหรับค่าสีพบว่าเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้นน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดมันฝรั่ง และ chicken drumsticks จะมีค่าสีเหลืองซึ่งวัดด้วยเครื่อง Lovibond tintometer เพิ่มขึ้น สีของน้ำมันที่ใช้ทอดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจาก ผลของปฏิกิริยา hydrolysis, cyclization polymerization, isomerization และ oxidation เกิดสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวขึ้นในน้ำมันซึ่งเชื่อว่าจะดูดกลืน electromagnetic energy ในช่วงแสงอินฟาเรด และรงควัตถุจากอาหารออกมาอยู่ในน้ำมัน และ Maillard reaction ทำให้เกิด brown pigment melanoidin ในน้ำมัน นอกจากนั้น conjugated double bonds ที่อยู่ในน้ำมันดูดกลืนแสงสีน้ำเงินมากขึ้นจึงทำให้เห็นน้ำมันเป็นสีส้มและสีน้ำตาล และเกิดจากการสะสมของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในน้ำมัน

Tyagi และ Vasishtha (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์แล้วโดยไม่เติมสารต้านออกซิเดชัน และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารต้านออกซิเดชัน คือ butylated hydroxyanisole (BHA) และ tertiary-butylhydroquinone (TBHQ) ชนิดละ 0.01% โดยเปรียบเทียบกับการทอดโดยใช้ vanaspati (partially hydrogenated vegetable oil blend ประกอบด้วย น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันเมล็ด nigerseed น้ำมันปาล์ม น้ำมันเรปสีด น้ำมันมัสตาด น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันดอกคำฝอย และน้ำมันงา ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 37 $^{\circ}$C) โดยทอดมันฝรั่งแผ่น

แบบน้ำมันท่วม ที่อุณหภูมิ 170 °C 180 °C และ 190 °C ใช้ตัวอย่างน้ำมัน 1.2 กิโลกรัม ใส่ในเตาทอดขนาด 2 ลิตร ทอดมันฝรั่งแผ่นครั้งละ 20 กรัม ทอดทุกครึ่งชั่วโมง โดยในวันแรกใช้เวลาการทอดนาน 10 ชั่วโมง และทอดอีก 10 วัน ติดต่อกันโดยใช้เวลาในการทอด 6 ชั่วโมงต่อวัน โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ ผลการทดลองพบว่า ค่าสี ความหนืด และ ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันถั่วเหลือง และ vanaspati เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าสีและความหนืดที่เพิ่มขึ้นในน้ำมันถั่วเหลืองมากกว่าใน vanaspati เนื่องจากผลของปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ polymerization ของน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งมีกรดไขมันชนิด trienoic และ dienoic อยู่มากกว่า vanaspati และพบว่า BHA และ TBHQ ไม่มีผลต่อการสลายตัวของน้ำมันถั่วเหลืองในระหว่างการทอด การทอดน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 190 °C นาน 70 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะเพิ่มขึ้นจาก 0.04 % ไปเป็น 1.5 % การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยา hydrolysis และอีกส่วนหนึ่งมาจากส่วนของ carboxylic groups ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากการทอด ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกรดไขมันอิสระตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไป ซึ่งในโมเลกุลของกรดไขมันอิสระที่มาจับกันเกิดเป็นพอลิเมอร์ขึ้นนี้มี carboxylic groups อยู่ในโมเลกุลด้วย จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระได้