บทที่ 4
ลิปิด

ลิปิด (lipid) เป็นสารชีวโมเลกุลที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต ลิปิดเป็นสารที่พบมากในธรรมชาติ ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 3 ชนิด คือ คาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) ออกซิเจน(O) บางครั้งพบไนโตรเจน(N) และฟอสฟอรัส(P) ด้วย ลักษณะทั่วไปของลิปิดเป็นไขมัน (fat) น้ำมัน (oil) และไข (waxes) คุณสมบัติที่สำคัญของลิปิดคือ สมบัติในการละลาย โดยลิปิดส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วต่ำ เช่น อีเทอร์ แอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม และคาร์บอนเตตระคอไรด์ ดังนั้นในการแยกหรือการสกัดลิปิดจากธรรมชาติสามารถทำได้โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เหล่านี้

4.1 ความสำคัญของลิปิด

ลิปิดมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมาก โดยหน้าที่ของลิปิดมีดังนี้

1. ให้พลังงานแก่ร่างกาย โดยไขมัน 1 กรัม ให้พลังงาน 9.1 กิโลแคลอรี
2. เป็นตัวทำละลายของวิตามิน ที่ละลายในไขมัน คือ วิตามิน เอ ดี อี เค ซึ่งวิตามินเหล่านี้เป็นสารอาหารที่สำคัญ และจำเป็นต่อร่างกาย ถ้าหากขาดไขมันก็จะทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้เพราะร่างกายไม่สามารถดูดซึมได้
3. สะสมไว้เป็นพลังงานสำรอง ร่างกายสะสมลิปิดไว้ใช้เมื่อขาดอาหาร โดยสะสมในรูปของไขมัน อยู่ที่เนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) นอกจากนี้ไขมันยังสามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นได้
4. เป็นสารตัวกลางในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชและสัตว์
5. เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของร่างกาย เช่น เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็นส่วนประกอบของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ระบบประสาท เนื้อเยื่อ เป็นต้น
6. เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินและฮอร์โมนบางชนิด เช่น วิตามินที่ละลายในไขมัน และฮอร์โมนพวกสเตอรอยด์ เป็นต้น
7. ช่วยป้องกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะภายใน ไขมันที่อยู่รอบอวัยวะภายในช่องอกและช่องท้อง สามารถป้องกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะเหล่านั้นได้ เช่น ตับ ไต

8. เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนของร่างกาย ทำให้ความร้อนภายในร่างกายออกสู่ภายนอกอย่างช้า ๆ เช่น คนอ้วนจะไม่รู้สึกหนาวในขณะที่อากาศเย็น เพราะไขมันใต้ผิวหนังเป็นฉนวนป้องกันไว้

9. ช่วยในการขนส่งสาร เช่น การขนส่งไขมันในเลือดในรูปไลโพโปรตีน

4.2 ประเภทของลิปิด

ลิปิดสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. อนุพันธ์ของลิปิด (derivative of lipid) ได้จากการสลายลิปิดบางชนิด เช่น การสลายไทรกลีเซอไรด์ (triglyceride) จะได้กรดไขมัน (fatty acid) และกลีเซอรอล (glycerol)

2. ลิปิดอย่างง่าย (simple lipid) หรือลิปิดธรรมดา หรือลิปิดเชิงเดียว เป็นสารเอสเทอร์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ ตัวอย่างลิปิดอย่างง่าย เช่น ไตรกลีเซอไรด์ เป็นลิปิดที่พบมากที่สุดในร่างกาย

3. ลิปิดเชิงประกอบ (compound lipid) เป็นลิปิดที่มีสารอื่นเป็นองค์ประกอบ เช่น ฟอสโฟลิปิด ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตในโมเลกุล

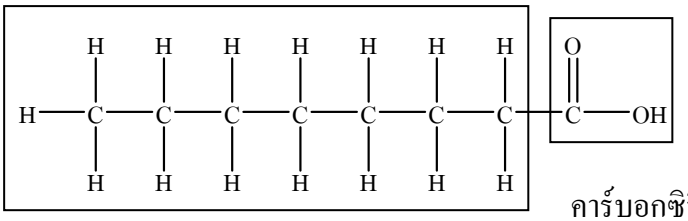
4. ลิปิดเบ็ดเตล็ด (miscellaneous lipid) เป็นลิปิดที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ไม่สามารถจำแนกเข้ากลุ่มกับลิปิด 3 ชนิดแรกได้ จึงนำมาจัดรวมกันไว้ในกลุ่มของลิปิดเบ็ดเตล็ด เช่น เทอร์พีน (terpene) วิตามินที่ละลายในไขมัน (พัชรี บุญศิริ และคณะ, 2550 : 66)

4.3 อนุพันธ์ของลิปิด

อนุพันธ์ของลิปิดเป็นสารที่ได้จากการสลายลิปิดอย่างง่าย หรือลิปิดเชิงประกอบ โดยที่สารที่ได้จากการสลายนี้ยังมีคุณสมบัติของลิปิดอยู่ อนุพันธ์ของลิปิดที่สำคัญ ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride)

4.3.1 กรดไขมัน

กรดไขมัน คือ สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นคาร์บอกซิลิก แอซิด (carboxylic acid group, -COOH) มีสูตรทั่วไปเป็น R-COOH โครงสร้างของกรดไขมัน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของกรดไขมัน

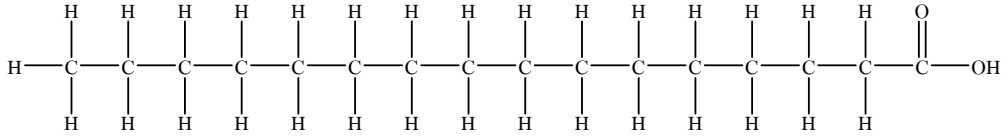
จากโครงสร้างของกรดไขมันประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอน ส่วนนี้เป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และส่วนที่เป็นหมู่คาร์บอกซิลิก แอซิด โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ เรียกว่า ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ดังนั้นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมากขึ้นจะละลายน้ำได้น้อยลง

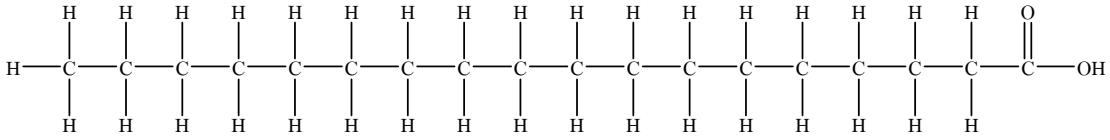
กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์ส่วนใหญ่จะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ โดยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมเป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุด

4.3.1.1 ประเภทของกรดไขมัน

ประเภทของกรดไขมันแบ่งตามระดับความอิ่มตัว แบ่งได้ 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ดังนี้

1. กรดไขมันอิ่มตัว คือ กรดไขมันที่มีส่วนของไฮโดรคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว (single bond) เช่น กรดปาลมิติก (palmitic acid) กรดสเตียริก (stearic acid) ดังรูปที่ 4.2

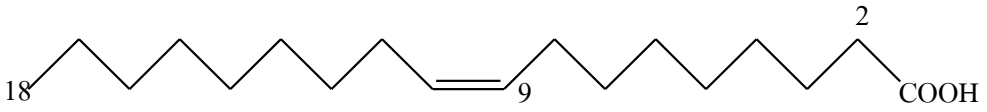




รูปที่ 4.2 โครงสร้างของกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก

กรดไขมันอิ่มตัวมีคุณสมบัติ แข็งตัวง่าย มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวพบมากในน้ำมันและไขมันจากสัตว์ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดไขมันที่มีส่วนของไฮโดรคาร์บอนเป็นพันธะคู่ (double bond) อย่างน้อย 1 พันธะ เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) ดังรูปที่ 4.3



กรดโอเลอิก

กรดไลโนเลอิก

รูปที่ 4.3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก

กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีคุณสมบัติ แข็งตัวยาก มีจุดหลอมเหลวต่ำ พบมากในน้ำมันจากพืช เช่น น้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง

ประเภทของกรดไขมันแบ่งตามความจำเป็นต่อร่างกาย แบ่งได้ 2 ประเภท คือ กรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) และกรดไขมันไม่จำเป็น (nonessential fatty acid) ดังนี้

1. กรดไขมันจำเป็น คือ กรดไขมันที่ ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรง กรดไขมันจำเป็นที่สำคัญ เช่น กรดไลโนลีอิค (linoleic acid) กรดไลโนลีนิค (linolinic acid) โดยกรดไขมันจำเป็นที่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต้องการมากที่สุดคือ กรดไลโนเลอิก ทั้งนี้เพราะสารในกลุ่มไตรกลีเซอไรด์และฟอสโฟกลีเซอไรด์ในสัตว์กลุ่มนี้ มีกรดไลโนลิอิกเป็นส่วนประกอบ 10 – 20% ของกรดไขมันทั้หมด กรดไลโนเลอิก และกรดไลโนเลนิกมีมากในพืช หน้าที่ของกรดไขมันจำเป็นยังไม่ทราบแน่ชัด ที่ค้นพบแล้วในขณะนี้คือ เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพรอสทาแกลนดิน (prostaglandin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่สำคัญในร่างกาย

2. กรดไขมันไม่จำเป็น คือ กรดไขมันที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ มีอยู่ในอาหารประเภทไขมันทั่วไป เช่น กรดปาลมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก

การเรียกชื่อกรดไขมันมีหลายวิธี เช่น การเรียกชื่อสามัญ (common name) การเรียกชื่อตามระบบ (systematic name) ชื่อสามัญเป็นชื่อที่ผู้ค้นพบตั้งขึ้นโดยมีที่มาแตกต่างกัน

ส่วนชื่อตามระบบใช้เรียกชื่อกรดไขมันเพื่อให้มีมาตรฐานเดียวกัน โดยการแสดงจำนวนคาร์บอนเป็นภาษากรีกแล้วตามด้วยคำว่า –anoic สำหรับกรดไขมันอิ่มตัว และใช้ –enoic สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ดาวัลย์ ฉิมภู่, 2548 : 144) ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในสิ่งมีชีวิต แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในสิ่งมีชีวิต

ชื่อสามัญ	ชื่อ IUPAC	โครงสร้าง
Lauric acid	Dodecanoic acid	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
Myristic acid	Tetradecanoic acid	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
Palmitic acid	Hexadecanoic acid	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Stearic acid	Octadecanoic acid	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
Arachidic acid	Eicosanoic acid	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$
Behenic acid	Docosanoic acid	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$
Lignoceric acid	Tetracosanoic acid	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$
Palmitoleic acid	9-Hexadecenoic acid	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$
Oleic acid	9-Octadecenoic acid	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$
Linoleic acid	9,12-Octadecadienoic acid	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_2(CH_2)_6COOH$
α-Linolenic	9,12,15-Octadecatrienoic acid	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_3(CH_2)_6COOH$
γ-Linolenic acid	6,9,12,-Octadecatrienoic acid	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_3(CH_2)_3COOH$
Arachidonic	5,8,11,14-Eicosatetraenoic acid	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_4(CH_2)_2COOH$
EPA	5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_5(CH_2)_2COOH$
Nervonic acid	15-Tetracosenoic acid	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_{13}COOH$

4.3.1.2 การเขียนสัญลักษณ์ของกรดไขมัน

สัญลักษณ์ของกรดไขมันจะบอกความยาวของโมเลกุล จำนวนคาร์บอน และในกรณีที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะบอกตำแหน่งพันธะคู่ การใช้สัญลักษณ์ประกอบด้วยเลข 2 ชุดซึ่งมีเครื่องหมาย : คั่น ตัวเลขข้างหน้าแสดงจำนวนคาร์บอน ตัวเลขข้างหลังแสดงจำนวนและตำแหน่งพันธะคู่ ดังนี้

ตัวเลขแสดงจำนวนคาร์บอน : ตัวเลขแสดงจำนวนและตำแหน่งพันธะคู่

การนับจำนวนคาร์บอนเพื่อบอกตำแหน่งพันธะคู่นั้น ในปัจจุบันใช้อยู่ 3 ระบบ คือ ระบบ Δ (delta) ระบบ n และระบบ ω (omega) ซึ่งแต่ละระบบจะมีวิธีการนับจำนวนคาร์บอนดังนี้

ปลายเมทิล							ปลายคาร์บอกซิล
ระบบ Δ	7	6	5	4	3	2	1
ระบบ n	1	2	3	4	5	6	7
ระบบ ω	ω	ω-1.....		δ	γ	β	α

ตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก ใช้ระบบ Δ

สัญลักษณ์คือ 18:0

กรดโอเลอิก สัญลักษณ์คือ $18:1\Delta^{9}$

กรดไลโนเลอิก สัญลักษณ์คือ $18:2\ \Delta^{9,12}$

ถ้าพันธะคู่เป็นแบบ cis ไม่ต้องเขียนคำว่า cis แต่ถ้าพันธะคู่เป็น trans ต้องเขียนคำว่า trans

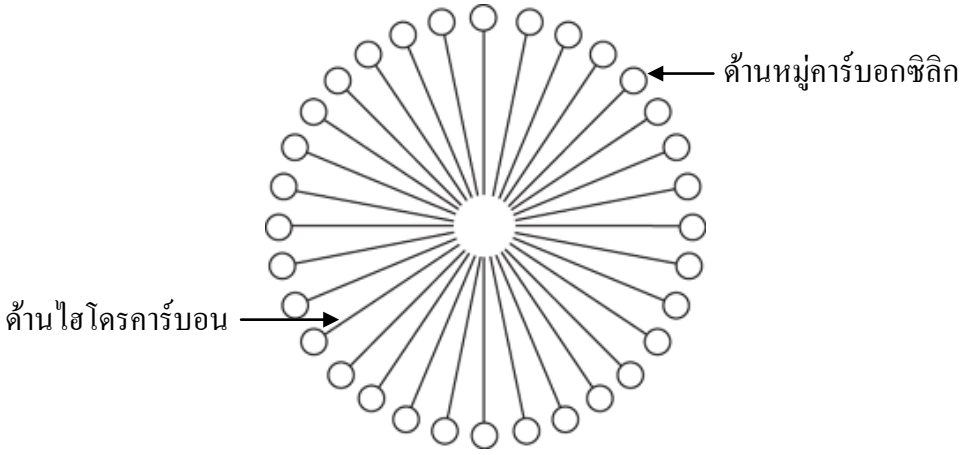
Elaidic acid สัญลักษณ์คือ 18:1 $\Delta^{9\ trans}$

(ดาวัลย์ ฉิมภู่, 2548 : 144-145)

8.3.1.3 สมบัติของกรดไขมัน

สมบัติทางกายภาพของกรดไขมันขึ้นกับจำนวนอะตอมคาร์บอนและพันธะคู่ที่อยู่ในโมเลกุล ดังนี้

1. การละลาย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 16 – 18 อะตอม ไม่สามารถละลายน้ำได้ เพราะโครงสร้างมีส่วนไฮโดรคาร์บอนมาก แต่เกลือของกรดไขมัน เรียกว่า สบู่ สามารถสร้างไมเซลล์ (micelle) มีลักษณะเป็นทรงกลมเมื่ออยู่ในน้ำ ดังรูปที่ 4.4 โดยด้านหมู่คาร์บอกซิลิก แอซิด ซึ่งละลายน้ำได้จะหันออกหาน้ำ ส่วนด้านไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่ละลายน้ำจะหันหน้าเข้าหากันเอง (พัชรี บุญศิริ และคณะ, 2550 : 70)



รูปที่ 4.4 ไมเซลล์

2. จุดหลอมเหลว กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมาก จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย และกรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว เมื่อมีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน เช่น กรดสเตียริก (18:0) มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดโอเลอิก (18:1)

สมบัติทางเคมีของกรดไขมัน กรดไขมันจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ที่หมู่ฟังก์ชัน นั่นคือหมู่ฟังก์ชันกรดคาร์บอกซิลิก เช่น ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ (esterification) ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) นอกจากนี้ในส่วนของไฮโดรคาร์บอนก็สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ เมื่อมีพันธะคู่ เช่น ปฏิกิริยาการเติม (addition) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) เป็นต้น (พัชรี บุญศิริ และคณะ, 2550 : 71)

ปฏิกิริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารเอสเทอร์ เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญ สำคัญปฏิกิริยาหนึ่งของกรดไขมัน เรียกว่าปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน หรือปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ โดยกรดไขมัน 3 โมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ 1 โมเลกุล ดังสมการ

3 กรดไขมัน + กลีเซอรอล $\longrightarrow$ ไตรกลีเซอไรด์ + 3 น้ำ

4.3.2 กลีเซอรอล

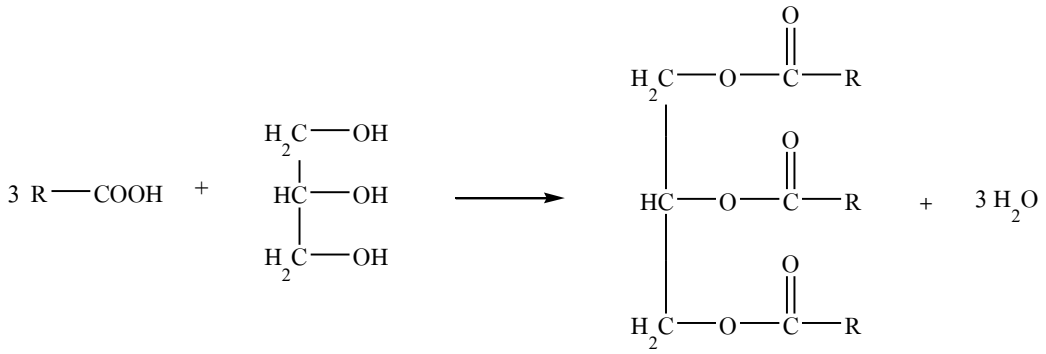
กลีเซอรอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ เรียกว่า ไตรไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ (trihydroxyalcohol) มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ กลีเซอรอลสามารถละลายน้ำและตัวทำละลายที่มีขั้วได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ เช่น เฮกเซน อีเทอร์

4.4 ลิปิดอย่างง่าย

ลิปิดอย่างง่าย คือ สารประเภทเอสเทอร์ ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ลิปิดประเภทนี้ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน (fat and oil) และขี้ผึ้ง (wax)

4.4.1 ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันเป็นลิปิดที่พบมากในธรรมชาติ ไขมันและน้ำมันเรียกรวมว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) โดยเป็นสารเอสเทอร์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ดังสมการ



กรดไขมัน กลีเซอรอล ไตรกลีเซอไรด์ น้ำ

ไตรกลีเซอไรด์ หรือไตรเอซิลกลีเซอรอลจะมีหลายประเภท โดยจะเป็นแบบใดขึ้นกับชนิดของกรดไขมันทั้ง 3 โมเลกุลที่ทำปฏิกิริยา ถ้าเป็นกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้งสามโมเลกุลจะเรียกว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอลเชิงเดียว (simple triacylglycerol) ถ้ากรดไขมันที่ทำปฏิกิริยาเป็นกรดไขมันต่างชนิดกันจะเรียกว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอลผสม (mixed triacylglycerol)

ลักษณะทางกายภาพของไตรกลีเซอไรด์มีทั้งที่เป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมัน (จุดหลอมเหลวต่ำ) และไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นของแข็งเรียกว่า ไขมัน (จุดหลอมเหลวสูง) โดยไตรกลีเซอไรด์จะเป็นไขมันหรือน้ำมันขึ้นอยู่กับกรดไขมันที่ทำปฏิกิริยา ไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว ไตรกลีเซอไรด์นั้นมักจะเป็นน้ำมัน แต่ถ้าไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ไตรกลีเซอไรด์นั้นมักจะเป็นไขมัน ดังนั้นไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากพืชมักจะเป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมันพืช ส่วนไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากสัตว์มักจะเป็นของแข็งเรียกว่า ไขมันสัตว์

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไขมันและน้ำมันจะคล้ายกับสมบัติของกรดไขมัน เนื่องจากไขมันและน้ำมันมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่มาก สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันมีดังนี้

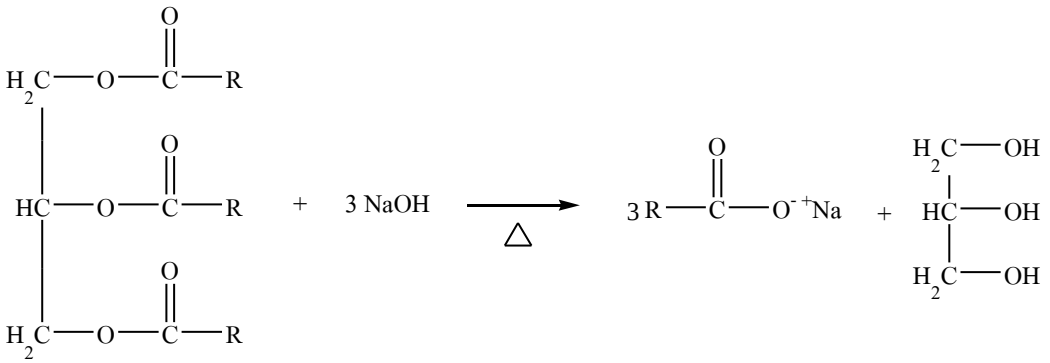
1. การละลาย ไขมันและน้ำมันไม่ละลายน้ำและไม่สามารถสร้างไมเซลล์ได้ แต่ละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ เช่น เบนซีน อีเทอร์

2. จุดเหลอมเหลว ไขมันในสัตว์มีจุดหลอมเหลวสูง เนื่องจากส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ในขณะที่น้ำมันในพืชมีจุดหลอมเหลวต่ำ เนื่องจากส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว

3. สี กลิ่น รส ไขมันและน้ำมันบริสุทธิ์จะไม่มีสี กลิ่น รส การที่น้ำมันและไขมันบางชนิดเกิดสี กลิ่น และรสได้นั้น เกิดจากการที่ลิปิดดูดซับเอาสารบางชนิดเข้ามา ซึ่งสารนั้นสามารถละลายในไขมันและน้ำมันได้ เช่น เนยเหลวมีสีเหลืองเนื่องจากมีรงควัตถุแคโรทีนอยู่ด้วย นอกจากนี้อาจเกิดจากน้ำมันและไขมันเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

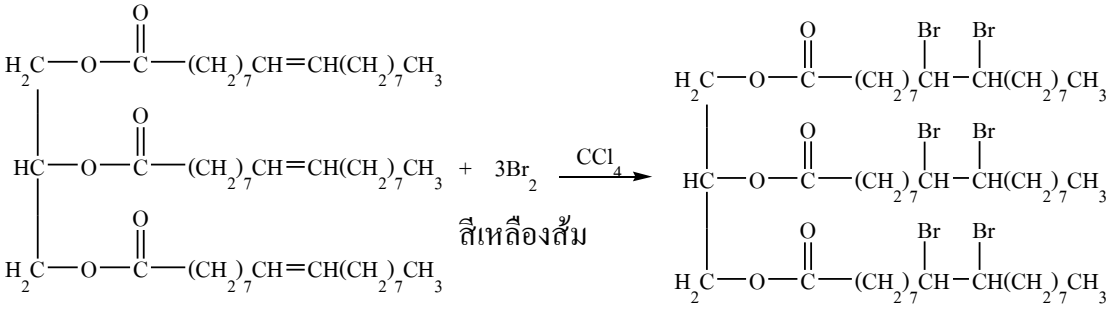
สมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมัน มีดังนี้

1. ปฏิกิริยาสปอนิฟิเคชัน (sponification) เป็นปฏิกิริยาที่ไขมันและน้ำมันทำปฏิกิริยากับเบส เกิดเกลือของกรดไขมัน หรือสบู่ (sapon เป็นภาษาละตินแปลว่า สบู่) กับกลีเซอรอล เป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้คือสบู่ จึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ ดังสมการ



ไขมันและน้ำมัน เบส สบู่ กลีเซอรอล

2. ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชัน (halogenation) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในรูปอิสระ หรืออยู่ในรูปไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับสารประกอบแฮโลเจน (สารที่ประกอบด้วยธาตุในหมู่ 7 ของตารางธาตุ) โดยเป็นการเติมสารแฮโลเจนเข้าที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งจะทำให้เกิดการฟอกจางสีของสารละลายแฮโลเจน เช่น สารละลายโบรมีน (Br_2) สารละลายไอโอดีน (I_2) ตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยาแฮโลจิเนชันของไตรโอลิเอตกับสารละลายโบรมีน ดังสมการ

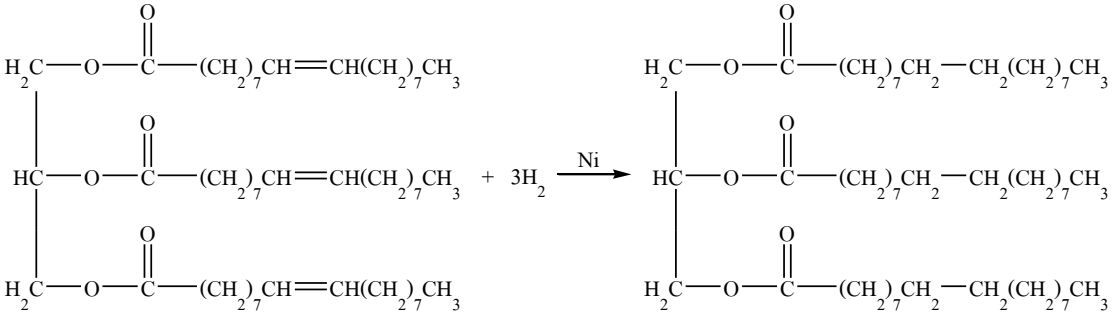


ไตรโอลิเอต ไม่มีสี

ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชันได้นำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบความไม่อิ่มตัวของไขมันและน้ำมัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างแฮโลเจนกับลิปิดที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดย

โบรมีนหรือไอโอดีนจะเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของลิปิด ปฏิกิริยานี้อาจเรียกว่าเป็นการฟอกจางสีโบรมีนหรือไอโอดีน เพราะถ้ายังมีความไม่อิ่มตัวหรือพันธะคู่เหลืออยู่สีของโบรมีนหรือไอโอดีนที่ใส่ลงไปจะหายไปทันที เมื่อโบรมีนหรือไอโอดีนทำปฏิกิริยากับพันธะคู่จนหมด จึงจะปรากฏสีโบรมีนหรือไอโอดีนที่มากเกินพอให้เห็น เปรียบเทียบปริมาณแฮโลเจนที่ใช้สำหรับลิปิดแต่ละชนิด ลิปิใดที่ต้องใช้ปริมาณแฮโลเจนมากแสดงว่ามีความไม่อิ่มตัวมาก ลิปิดใดที่ใช้ปริมาณแฮโลเจนน้อยแสดงว่ามีความไม่อิ่มตัวน้อย

3. ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation)เป็นปฏิกิริยาของน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน (H_2) โดยไฮโดรเจนจะถูกเติมเข้าที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังสมการ

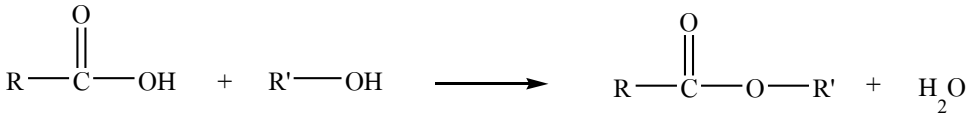


ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ปฏิกิริยานี้ในการเปลี่ยนรูปน้ำมันพืชซึ่งเป็นของเหลวให้เป็นไขมันซึ่งเป็นของแข็ง นิยมใช้ในการเปลี่ยนน้ำมันพืชที่มีจำนวนมากและราคาไม่แพง เช่น น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง ให้เป็นมาการีน (magarine) ได้

4. การเหม็นหืน (rancidity) ของไขมันและน้ำมัน เกิดจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) โดยออกซิเจนในอากาศจะเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้เป็นสารแอลดีไฮด์ และกรดไขมันโมเลกุลเล็กซึ่งมีกลิ่นเหม็นหืน นอกจากนี้การเหม็นหืนของไขมันและน้ำมันอาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ระหว่างไขมันหรือน้ำมันกับน้ำ โดยมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กที่ระเหยง่ายและมีกลิ่นเหม็นหืน ดังนั้นการเก็บไขมันหรือน้ำมันไว้โดยไม่ให้เกิดการเหม็นหืนจะต้องเก็บไว้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ปิดภาชนะให้สนิท ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศ (ศุภศิษฏ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์, 2552 : 53)

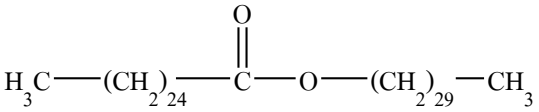
4.4.2 ไข

ไขเป็นสารเอสเทอร์เช่นเดียวกับไขมันและน้ำมัน ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยแอลกอฮอล์ที่ทำปฏิกิริยาจะเป็นชนิดโมโนไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ (monohydroxyalcohol) ดังสมการ



กรดไขมัน แอลกอฮอล์ ไข

ตัวอย่างไข เช่น ไขจากผึ้ง (mericyl palmitate) ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของไขจากผึ้ง

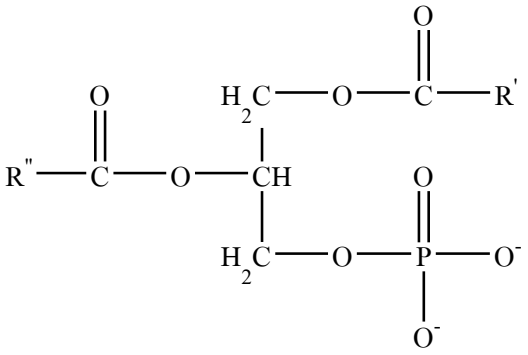
ไขมีจุดหลอมเหลวต่ำ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไม่ละลายน้ำ ไขที่พบในธรรมชาติมักเคลือบอยู่ที่ผิวของใบไม้และผลไม้ ที่ผิวหนังและขนของสัตว์ ในทางอุตสาหกรรมนำไขจากพืชมาใช้ประโยชน์ เช่น ทำเป็นยาขัดรองเท้า ขัดพื้น ทำเทียนไข

4.5 ลิปิดเชิงประกอบ

ลิปิดเชิงประกอบ คือ ลิปิดอย่างง่ายที่มีสารอื่นรวมอยู่ด้วย ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด ไกลโคลิปิด สฟิงโกลิปิด และไลโพโปรตีน

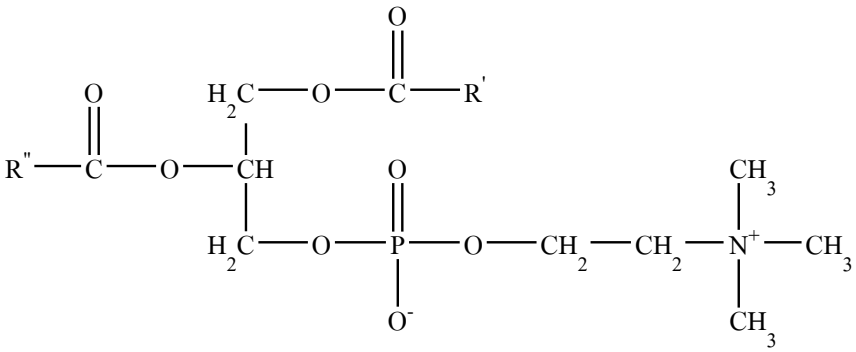
4.5.1 ฟอสโฟลิปิด

ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เป็นลิปิดที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ ส่วนมากพบในเยื่อเซลล์ของพืชและสัตว์ ฟอสโฟลิปิดในร่างกายมีหลายชนิดมีหน้าที่ต่างๆ เช่น เป็นส่วนประกอบสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ เนื้อเยื่อประสาท น้ำเลือด ช่วยขนส่งลิปิดในเลือด นอกจากนี้ยังพบในไข่แดง ตัวอย่างฟอสโฟลิปิด เช่น ฟอสฟาทิเดท (phosphatidate) ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของฟอสฟาทิเดท

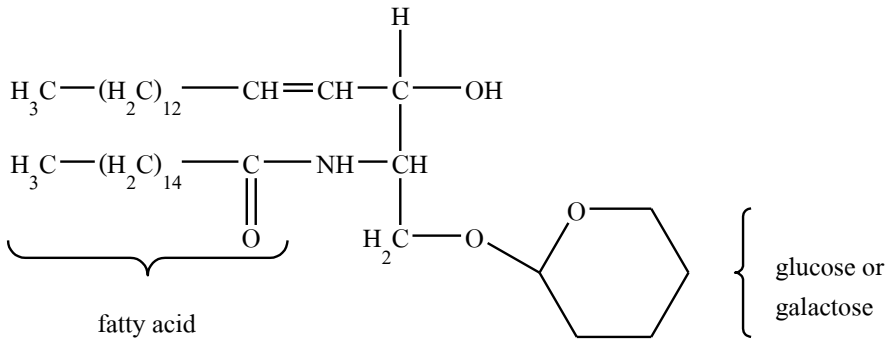
เลซิติน (lecithin) เป็นฟอสโฟลิปิดที่พบมากในไข่แดงและถั่วเหลือง นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตนม โครงสร้างของเลซิติน แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของเลซิติน

4.5.2 ไกลโคลิปิด หรือ ไกลโคสฟิงโกลิปิด

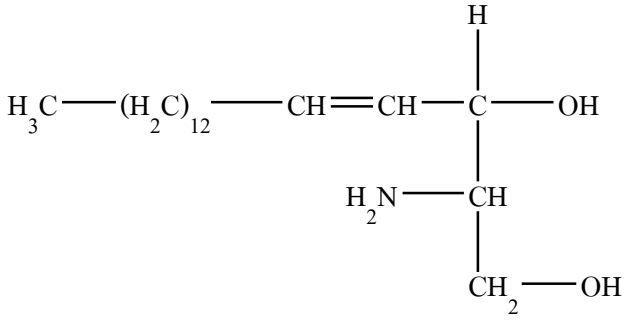
ไกลโคลิปิด (glycolipid) หรือ ไกลโคสฟิงโกลิปิด (glycosphingolipid) เป็นลิปิดที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ พบในเนื้อเยื่อ โดยพบมากในเนื้อเยื่อประสาท เนื้อเยื่อสมอง และเยื่อหุ้มเซลล์ ตัวอย่างเช่น ซีเรโบรไซด์ (cerebroside) มีน้ำตาลกลูโคส หรือกาแลกโทสเป็นองค์ประกอบ สารชนิดนี้พบที่เยื่อหุ้มเซลล์ของสมอง และเส้นประสาท โครงสร้างของซีเรโบรไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 โครงสร้างของซีเรโบรไซด์

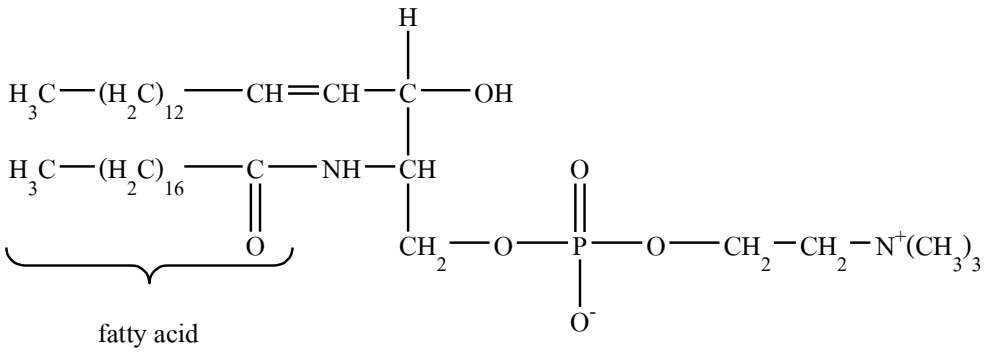
4.5.3 สฟิงโกลิปิด

สฟิงโกลิปิด (sphingolipid) เป็นลิปิดที่มีสฟิงโกซีน (sphingosine) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่พบในเยื่อเซลล์ของพืชและสัตว์ โครงสร้างของสฟิงโกซีน แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 โครงสร้างของสฟิงโกซีน

สฟิงโกลิปิดที่พบมากได้แก่ สฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelin) เป็นส่วนประกอบของเยื่อเซลล์ โครงสร้างของสฟิงโกไมอีลิน แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 โครงสร้างของสฟิงโกไมอีลิน

4.5.4 ไลโพโปรตีน

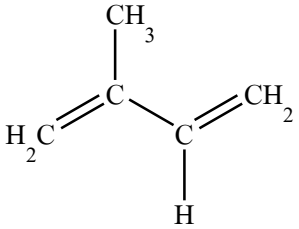
ไลโพโปรตีน (lipoprotein) เป็นลิปิดที่อยู่รวมกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนพบในเยื่อหุ้มเซลล์ และพบในเลือด โดยทำหน้าที่ขนส่งสารกลุ่มลิปิดไปยังเซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย

4.6 ลิปิดเบ็ดเตล็ด

ลิปิดเบ็ดเตล็ด เป็นลิปิดที่มีโครงสร้างต่างๆ ที่ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มกับลิปิด 3 ชนิดแรกได้ จึงนำมาจัดไว้ในกลุ่มของลิปิดเบ็ดเตล็ด เช่น เทอร์พีน สเตอรอยด์ และวิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค)

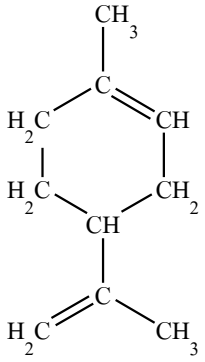
4.6.1 เทอร์พีน

เทอร์พีน (terpene) หรือเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่พบมากในน้ำมันจากพืชและดอกไม้ โครงสร้างของเทอร์พีนประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า ไอโซพรีน (isoprene unit) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 5 อะตอม มีสูตรโมเลกุล C_5H_8 ดังรูปที่ 4.11



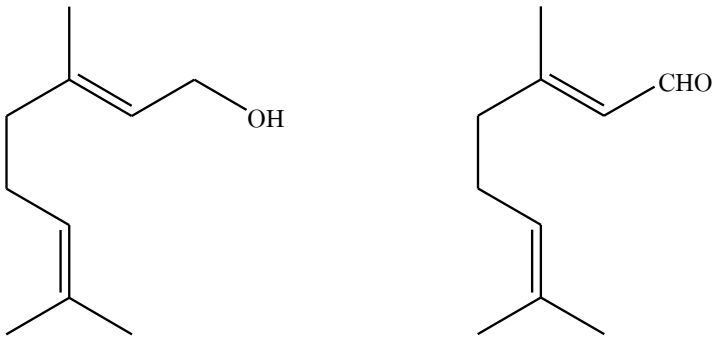
รูปที่ 4.11 โครงสร้างของหน่วยย่อยไอโซพรีน

เทอร์พีนที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหย (essential oil) เช่น ลิโมนีน (limonene) พบในน้ำมันเปลือกส้ม มีฤทธิ์ไล่ยุงได้ ลิโมนีนเป็นเทอร์พีนที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยไอโซพรีน 2 หน่วย โครงสร้างของลิโมนีนแสดงดังรูปที่ 4.12



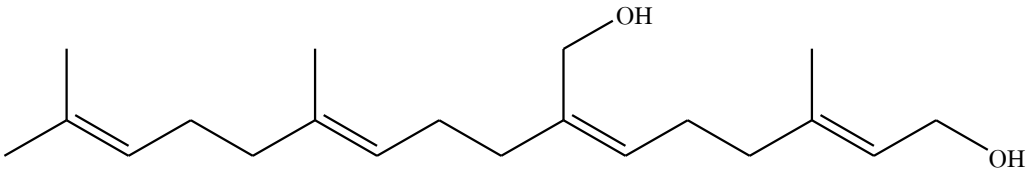
รูปที่ 4.12 โครงสร้างของลิโมนีน

เจอรานิออล (geraniol) และซิทรัล (citral) เป็นลิโมนีนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ประกอบด้วยหน่วยย่อยไอโซพรีน 2 หน่วย มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบางชนิด โครงสร้างของเจอรานิออล และซิทรัลแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 โครงสร้างของเจอรานิออล และซิทรัล

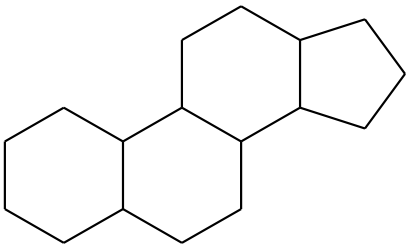
เปลาโนทอล (plaunotol) พบในใบเปล้าน้อย (*Croton sublyratus* Kurz.) มีฤทธิ์สมานแผลในกระเพาะอาหาร ประกอบด้วยหน่วยย่อยไอโซพรีน 4 หน่วย โครงสร้างของเปลาโนทอลแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 โครงสร้างของเปลาโนทอล

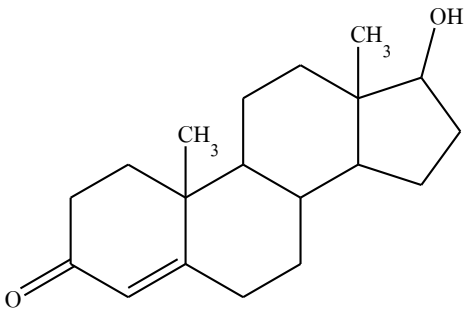
4.6.2 สเตอรอยด์

สเตอรอยด์ (steroid) เป็นสารที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวนสี่วงเชื่อมต่อกัน เรียกว่า ไซโคลเพนทาโนเปอร์ไฮโดรฟีแนนทรีน (cyclopentanoperhydrophenanthrene) ดังรูปที่ 4.15



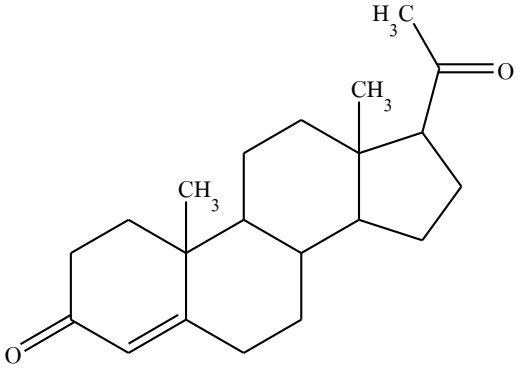
รูปที่ 4.15 โครงสร้างของไซโคลเพนทาโนเปอร์ไฮโดรฟีแนนทรีน

สเตอรอยด์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างของวงไซโคลเพนทาโนเปอร์ไฮโดรฟีแนนทรีนที่เหมือนกัน และจะแตกต่างกันที่หมู่ฟังก์ชัน (functional group) และอะตอมของธาตุที่มาทำพันธะกับวงดังกล่าว สเตอรอยด์พบมากในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ โดยมีบทบาทสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต เช่น เป็นฮอร์โมน นอกจากนี้สเตอรอยด์หลายชนิดมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่มีผลต่อร่างกาย เช่น ลดการอักเสบ มีผลต่อหัวใจ ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ เทสโทสเตอโรน (testosterone) เป็นฮอร์โมนเพศชาย โครงสร้างของเทสโทสเตอโรนแสดงดังรูปที่ 4.16



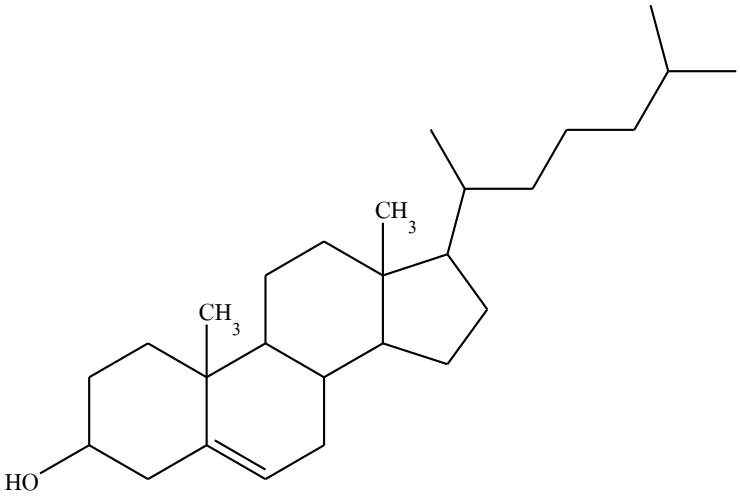
รูปที่ 4.16 โครงสร้างของเทสโทสเตอโรน

โปรเจสเตอโรน (progesterone) เป็นฮอร์โมนในเพศหญิง โครงสร้างของโปรเจสเตอโรนแสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 โครงสร้างของโปรเจสเตอโรน

คอเลสเตอรอล (cholesterol) เป็นสเตอรอยด์ที่พบในร่างกาย เป็นองค์ประกอบของส่วนต่างๆในร่างกาย เช่น สมอง คอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมนในกลุ่มสเตอรอยด์ น้ำดี และวิตามินดี คอเลสเตอรอลในร่างกายได้จากการสังเคราะห์โดยอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ และบางส่วนได้จากอาหารที่รับประทาน แต่ถ้าร่างกายมีคอเลสเตอรอลมากเกินไปจะทำให้คอเลสเตอรอลไปเกาะผนังหลอดเลือด ทำให้เกิดการตีบตันของเส้นเลือดซึ่งทำให้เกิดอันตรายได้ โครงสร้างของคอเลสเตอรอลแสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 โครงสร้างของคอเลสเตอรอล

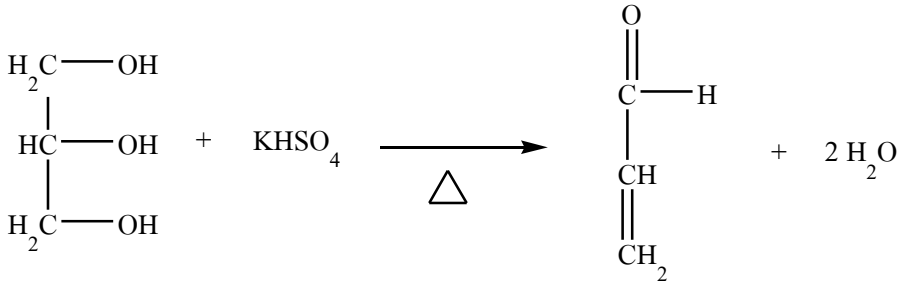
4.7 การทดสอบลิปิด

4.7.1 การทดสอบความไม่อิ่มตัว

การทดสอบความไม่อิ่มตัวใช้ปฏิกิริยาแฮโลจิเนชัน (halogenation) ระหว่างแฮโลเจนกับลิปิดที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยโบรมีนหรือไอโอดีนจะเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของลิปิด ปฏิกิริยานี้อาจเรียกว่าเป็นการฟอกสีโบรมีนหรือไอโอดีน เพราะถ้ายังมีความไม่อิ่มตัวหรือพันธะคู่เหลืออยู่สีของโบรมีนหรือไอโอดีนที่ใส่ลงไปจะหายไปทันที เมื่อโบรมีนหรือไอโอดีนทำปฏิกิริยากับพันธะคู่จนหมด จึงจะปรากฏสีโบรมีนหรือไอโอดีนที่มากเกินพอให้เห็น เปรียบเทียบปริมาณแฮโลเจนที่ใช้สำหรับลิปิดแต่ละชนิด ลิปิใดที่ต้องใช้ปริมาณแฮโลเจนมากแสดงว่ามีความไม่อิ่มตัวมาก ลิปิดใดที่ใช้ปริมาณแฮโลเจนน้อยแสดงว่ามีความไม่อิ่มตัวน้อย

4.7.2 การทดสอบกลีเซอรอล

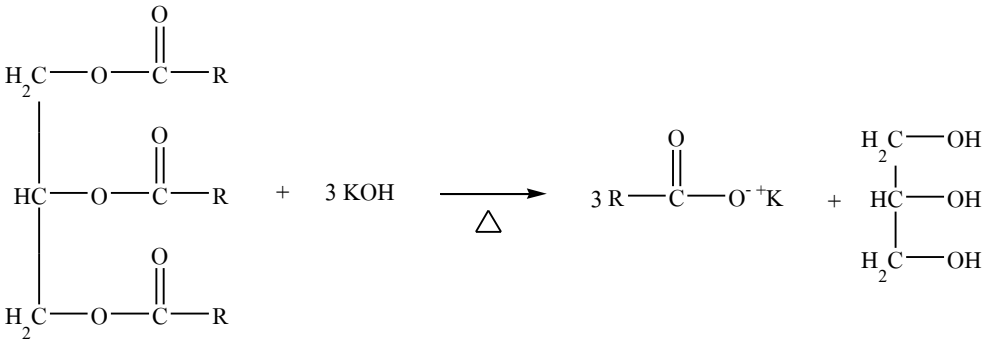
การทดสอบกลีเซอรอลเรียกว่า Acrolein test โดยกลีเซอรอลสามารถทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไบซัลเฟต (anhydrous potassium bisulfate; $KHSO_4$) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซอะโครลีน (acrolein) ซึ่งเป็นอัลดีไฮด์ที่มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ดังสมการ



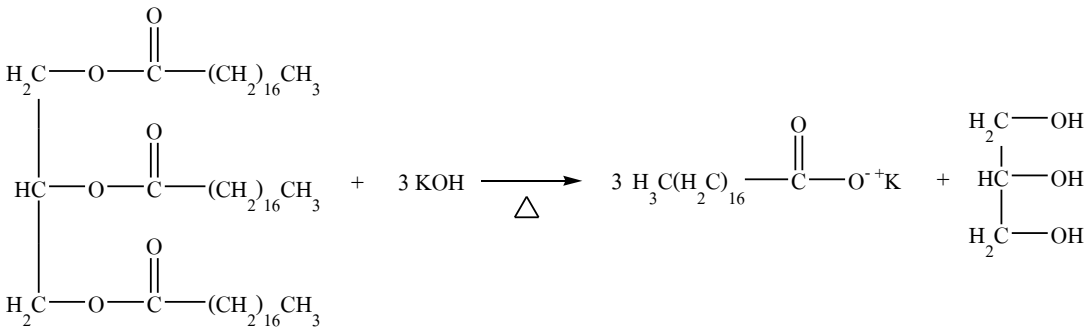
ดังนั้นในการตรวจสอบกลีเซอรอลทำโดยนำกลีเซอรอลมาทำปฏิกิริยากับ $KHSO_4$ ในหลอดทดลอง และให้ความร้อนบริเวณก้นหลอดโดยการเผา ในช่วงแรกให้ใช้ไฟอ่อนเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากนั้นค่อยๆเพิ่มไฟให้แรงขึ้น ตรวจสอบ acroleinที่เกิดขึ้นโดยการดมกลิ่นแก๊สซึ่งจะมีกลิ่นฉุน โดยใช้มือโบกพัดให้ก๊าซเข้าจมูกเพียงเล็กน้อย

4.7.3 การหาค่าเลขสปอนิฟิเคชัน

เลขสปอนิฟิเคชัน (sponification number) คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับลิปิด 1 กรัม การหาค่าเลขสปอนิฟิเคชันของลิปิด ทำโดยใช้ปฏิกิริยาสปอนิฟิเคชัน ระหว่างลิปิดที่รู้น้ำหนักแน่นอนกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ ดังสมการ



แล้วไทเทรตหาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เหลือด้วยกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน แล้วคำนวณหาค่าเลขสปอนิฟิเคชัน ลิปิดแต่ละชนิดจะมีค่าเลขสปอนิฟิเคชันต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของลิปิด ลิปิดที่มีกรดไขมันสายยาวๆ จะมีค่าเลขสปอนิฟิเคชันน้อยกว่าลิปิดที่มีกรดไขมันสายสั้นๆ ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเลขสปอนิฟิเคชันของไตรสเตียริน (tristearin) แสดงดังนี้



ไตรสเตียริน

จากสมการ 3 โมลของ KOH ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 โมลของไตรสเตียริน

โดย 3 โมลของ KOH = 3 x 56 x 1000 มิลลิกรัม KOH

(มวลโมเลกุลของ KOH = 56)

1 โมลของไตรสเตียริน = 890 กรัม (มวลโมเลกุลของ KOH = 890)

จะได้ ไตรสเตียริน 890 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ KOH 3 x 56 x 1000 มิลลิกรัม

ดังนั้น ไตรสเตียริน 1 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ KOH $\frac{3 \times 56 \times 1000}{890}$ มิลลิกรัม

189 มิลลิกรัม

ดังนั้นค่าเลขสปอนิฟิเคชันของไตรสเตียรินเท่ากับ 189 มิลลิกรัม KOH/กรัมลิปิด (เรืองลักขณา จามิกรณ์, 2544 : 212)

4.7.4 การหาค่าเลขไอโอดีน

เลขไอโอดีน (iodine number) คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่เติมลงในไขมันหรือน้ำมัน 100 กรัม การหาค่าเลขไอโอดีน ทำได้โดยอาศัยปฏิกิริยาแฮโลจิเนชันระหว่างลิปิดที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับสารประกอบแฮโลเจน โดยแฮโลเจนจะถูกเติมเข้าที่พันธะคู่ของลิปิด ดังสมการ

ถ้าลิปิดมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากจะมีเลขไอโอดีนมาก ลิปิดที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยจะมีเลขไอโอดีนน้อย ในการทดลองให้ไอโอดีนมอนอคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับไขมันไม่อิ่มตัวด้วยการใส่ไอโอดีนคลอไรด์ให้มากเกินพอที่จะทำปฏิกิริยากับไขมัน แล้วหาปริมาณไอโอดีนมอนอคลอไรด์ที่เหลือด้วยการเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ลงไปทำปฏิกิริยา แล้วไทเทรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟต ดังสมการ

ไตรกลีเซอไรด์ + ICl ที่มากเกินพอ → ไตรกลีเซอไรด์ที่มีแฮโลเจนเติมที่พันธะคู่ + ICl ที่เกิน

$$KI + ICl \longrightarrow KCl + I_2$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6$$

ตัวอย่างค่าเลขไอโอดีนของน้ำมันบางชนิดแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 เลขไอโอดีนของน้ำมันบางชนิด

ไตรกลีเซอไรด์	เลขไอโอดีน
น้ำมันมะพร้าว	8-10
น้ำมันปาล์ม	51.5-57
น้ำมันมะกอก	79-88
น้ำมันงา	103-108
น้ำมันถั่วเหลือง	137-143

(ที่มา: กนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์, 2553 : 74)

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์. (2553). **ปฏิบัติการชีวเคมี**. กรุงเทพฯ: ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชัน.

คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2554). **ชีวเคมี**. กรุงเทพฯ : เซนเกจ เลินนิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด.

ดาวัลย์ ฉิมภู่. (2548). **ชีวเคมี**. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชรี บุญศิริ เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ อุบล ชาอ่อน และปีติ ธุวจิตต์. (2550). **ตำราชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 5. ขอนแก่น : คลังนานาวิทยา.

เรืองลักขณา จามิกรณ์. (2544). **ชีวเคมีเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศุภศิษฎ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์. (2552). ชีวเคมีพื้นฐาน. กรุงเทพฯ : ท้อป.