สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวในปลากะตัก ที่ใช้ในการผลิตน้ำปลาและผลผลิตที่ได้จากการหมักตลอดกระบวนการผลิต

T035870

นางสาว ธัญวรรณ โพธิ์รัง
นางสาว พรศิรินทร์ ชุณหพิมล
นางสาว ภาวิตา หนูประสิทธิ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 35870
วัน, เดือน, ปี 27 มิ.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study for Determination of Long-Chain Unsaturated Fatty Acid in Anchovy (*Encraslcholina puncifer*) , Used in the Fish-Sauce Production,and the Yield from the Fermentation

Miss Thanyawan Phorang
Miss Pornsirin Chunhapimon
Miss Pavita Nooprasit

A special Project Submitted in Partial Fulfilment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Biology
Faculty of Science
King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang
1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวในปลากะตักที่ใช้ในการผลิตน้ำปลาและผลผลิตที่ได้จากการหมักตลอดกระบวนการผลิต
โดย	นางสาวธัญวรรณ โพธิ์รัง
	นางสาวพรศิรินทร์ ชุณหพิมล
	นางสาวภาวิตา หนูประสิทธิ์
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สุขใจ ชูจันทร์

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ลายเซ็น

.....

(รศ.ดร.พรรณี ฐิตาภิชิต) หัวหน้าภาค

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

.....

(อาจารย์ลินจง สุขลำภู) ประธานกรรมการ

.....

(อาจารย์กุลวดี ทองภูเบศร์) กรรมการ

.....

(รศ.สุขใจ ชูจันทร์) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวในปลากะตักที่ใช้ในการผลิตน้ำปลา และผลผลิตที่ได้จากการหมักตลอดกระบวนการผลิต
ผู้เสนอ	นางสาวธัญวรรณ โพธิ์รัง
	นางสาวพรศิรินทร์ ชุณหพิมล
	นางสาวภาวิตา หนูประสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สุขใจ ชูจันทร์
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

จากการศึกษาการตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวในปลากะตัก, น้ำปลาและน้ำหมักรวมทั้งกากตลอดกระบวนการผลิต พบว่า กากเดือน 12 ,กากเดือน9,ปลากะตักและกากเดือน 6 มีปริมาณน้ำมัน (crude oil) สูงตามลำดับคือ 6.443 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 4.3831เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 4.3574 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 3.0111 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณกรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก (DHA) และ กรดโอเลอิค (oleic acid) มีปริมาณมากในกากเดือนที่ 12 คือ 0.4073 และ 0.2527 กรัมต่อตัวอย่าง100กรัมตามลำดับ ส่วนกรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก (EPA) และกรดไขมันตัวอื่น ๆ พบในปริมาณน้อย สำหรับในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันจากน้ำหมักและน้ำปลาพบว่าจะมีปริมาณน้ำมัน (crude oil) ในปริมาณน้อยมาก โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันได้ในน้ำหมักเดือน 1 ซึ่งมีปริมาณน้ำมัน (crude oil) 0.007เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณของกรดโอเลอิกในกากตั้งแต่เดือน 1 ถึงเดือน 12 จะอยู่ในช่วง 2.1-3.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำมัน 100 กรัม ส่วนในปลากะตักมีปริมาณ 2.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อน้ำมัน 100 กรัม สำหรับกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 คือ กรดลิโนเลนิก, กรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก, กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิกในกากตั้งแต่เดือน 1 ถึงเดือน 12 อยู่ในช่วง 0-0.2 ,0-0.5 ,0.1-6.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อน้ำมัน 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนในปลากะตักจะมีปริมาณ 0.1 ,0.4 ,5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อน้ำมัน 100 กรัม ตามลำดับสำหรับกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-6 คือ กรดลิโนเลอิก ในกากจะอยู่ในช่วง 0.4-4.7เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อน้ำมัน 100 กรัม และในปลากะตักจะมีปริมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อน้ำมัน 100 กรัม การที่ปริมาณน้ำมันและกรดไขมันที่ได้มีค่าค่อนข้างไม่คงที่นั้นอาจเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การปะปนของปลาชนิด อื่นๆ นอกเหนือจากปลากะตัก น่านน้ำแหล่งที่อยู่อาศัยของปลา ฤดูกาล ฯลฯ ซึ่งในกระบวนการหมักน้ำปลาโดยทั่วไป จะไม่สามารถควบคุมตัวแปรเหล่านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title A Study for Determination of Long-Chain Unsaturated Fatty Acid in Anchovy (*Encraslcholina puncifer*) , Used in the Fish-Sauce Production, and the Yield from the Fermentation

Name Miss Thanyawan Phorang
Miss Pornsirin Chunhapimon
Miss Pavita Nooprasit

Special Project Advisor Associate Professor Sookjai Choojun

Department Applied Biology

Academic Year 1999

Abstract

Extraction of long-chain unsaturated fatty acid in Anchovy *(Encraslcholina puncifer)* used in fish-sauce production, and the yield from the fermentation was investigated. It was found that the crude oil was increase respectively as follows; waste from fermentation (6.433 percent by weight at 12 months > waste from fermentation (4.383 percent by weight) at 9 months > Anchovy (4.3574percent by weight) > waste from fermentation (3.0111 percent by weight) at 6 months.Docosahexaenoic acid (DHA) and oleic acid contents were maximum,0.4073 and 0.2527 g/100g at 12 months.Eicosapentaenoic acid (EPA) and other fatty acid were found lesser. In this study, crude oil in fish-sauce and liquid from fermentation were found a little. In waste from fermentation 1 month to 12 months, Oleic acid was between 2.1-3.9 percent by weight per 100g of crude oil, and in Anchovy, it was found 2.8 percent by weight per 100 g of crude oil. In waste from fermentation from 1 month to 12 months, Omega-3 fatty acid: linolenic acid, EPA, DHA: was found between 0-0.2, 0-0.5,0.1-6.3 percent by weight per100 g of crude oil respectively, and in Anchovy, it was found 0.1,0.4,5.0 percent by weight per 100 g of crude oil respectively. While omega-6 fatty acid, linoleic acid, was found between 0.4-4.7 percent by weight per 100 g of crude oil in waste from fermentation, and in Anchovy, it was found 1.1 percent by weight per 100 g of crude oil. The amount of oil was variation caused from the various factors such as the incompactibity of other fish in Anchovy 's sample, living area of Anchovy, season of sampling, etc. That may have interfered the fermentation process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.สุขใจ ชูจันทร์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์รวมทั้งให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษนี้ ซึ่งขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ บริษัทน้ำปลาพิไชย จำกัด (น้ำปลาตราหอยนางรม) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ตัวอย่างปลากะตัก น้ำหมัก และกากในขบวนการผลิตน้ำปลา ตลอดจนข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณบุญรอด หนูประสิทธิ์ ที่อำนวยความสะดวกในการเดินทางไปทำการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ คุณพยอม และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ธุรการทุกท่านรวมทั้งท่านผู้มีอุปการะ ที่มิอาจกล่าวนามได้ครบถ้วน ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือเป็นกำลังใจตลอดจน ให้ความร่วมมือในเรื่องต่างๆเป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	3
1.2 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ลิปิด	4
2.2 การจำแนกชนิดของลิปิด	5
2.2.1 อนุพันธ์ของกลีเซอรอล	5
2.2.2 อนุพันธ์ของสฟิงโกซีน	8
2.2.3 สเตอรอยด์	10
2.2.4 เทอร์ปีนอยด์	11
2.2.5 ไข	11
2.3 การสังเคราะห์กรดไขมัน	23
2.4 บทบาทของ EPAและ DHA	26
2.4.1 แหล่งของ EPA และ DHA	27
2.4.2 บทบาทของ EPA และ DHA กับการอุดตันของหลอดเลือด	51
2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและรักษาโรคของ EPAและ DHA	63
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	78
3.1 วัตถุดิบ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี 78
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ 78
3.2.2 สารเคมี 78
3.3 วิธีการทดลองและการวิเคราะห์ 79
3.3.1 การศึกษาปริมาณไขมันจากปลากะตัก,น้ำปลา,น้ำหมักและกาก 79
3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่าง 79
3.3.1.2 การย่อยตัวอย่าง 82
3.3.1.3 การสกัดไขมันโดย Auto Soxhlet Buchi 810 85
3.3.2 การศึกษาปริมาณของกรดไขมัน 85
3.3.2.1 เครื่องมือ Gas chromatography 85
3.3.2.2 การเตรียมโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน 86
3.3.2.3 การหาปริมาณกรดไขมันในน้ำมันตัวอย่าง 87
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 89
4.1 การหาปริมาณน้ำมัน (crude oil) ทั้งหมด 89
4.2 การหาปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัว 90
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 93
5.1 บทสรุป 93
5.2 ข้อเสนอแนะ 94
ภาคผนวก ก โครมาโทแกรมของกรดไขมันมาตรฐานและตัวอย่างบางชนิด 95
ภาคผนวก ข การคำนวณหาปริมาณกรดไขมัน 99
ภาคผนวก ค ผลการทดลองหาปริมาณน้ำมันดิบในน้ำหมัก, น้ำปลา, กากและปลากะตัก 100
ภาคผนวก ง กราฟแสดงผลการทดลอง 102
เอกสารอ้างอิง 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงการเรียกชื่อกรดไขมันตั้งแต่ C1-C30 พร้อมจุดเดือดและจุดหลอมเหลว	14
2-2	ตัวอย่างของกรดไขมับที่พบในธรรมชาติ	22
2-3	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ100กรัมของส่วนที่กินได้),ปริมาณโอเมกา-6 ทั้งหมด, กรดลิโนเลอิก, กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 ทั้งหมดที่พบในปลาสด	29
2-4	ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดและกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3, โอเมกา-6 (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก) ที่พบในปลาน้ำจืด	37
2-5	ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (SFA) และกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3, โอเมกา-6 (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก) ที่พบในปลาทะเล	39
2-6	การศึกษาปริมาณ DHA และ EPA ในสัตว์ทะเลบางชนิดในไทย	42
2-7	ไขมัน (crude fat) และปริมาณของกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อ100มิลลิลิตร) ในปลาน้ำจืดและปลาทะเลดิบ	44
2-8	ความหนาแน่นและองค์ประกอบของไลโปโปรตีน	55
2-9	แสดงความแตกต่างของน้ำปลาแต่ละเกรด	75
4-1	แสดงปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่พบในน้ำหมักและน้ำปลา (เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย)	89
4-2	แสดงปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่พบในกากและปลากะตัก (เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย)	89
4-3	แสดงเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหรือโดยปริมาตรของกรดไขมันต่อน้ำมัน 100 กรัม	90
4-4	แสดงน้ำหนักของกรดไขมันต่อตัวอย่าง 100 กรัมหรือมิลลิลิตร	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	โครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ	5
2-2	การรวมตัวของกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุลได้เป็นไตรกลีเซอไรด์และน้ำ	6
2-3	สูตรโครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ	16
2-4	แสดงการสังเคราะห์กรดไขมันทางชีวภาพ	17
2-5	แสดงการเกิดพันธะคู่จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน	18
2-6	การเติมคาร์บอน (elongation,E) และตำแหน่งของการเติมพันธะคู่ (desaturation ระบุด้วยΔ) ของกรดไขมันในเมตาบอลิซึมของไขมัน	20
2-7	ปฏิกิริยาการเกิดลิปิดออกซิเดชัน	21
2-8	ปฏิกิริยา desaturation ในพืชและสัตว์	24
2-9	วิถีการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน	25
2-10	แสดงโครงสร้างทางเคมีของ EPA	26
2-11	แสดงโครงสร้างทางเคมีของ DHA	26
2-12	แสดงโซ่อาหาร (food chain) ของกรดไขมัน EPA และ DHA ในธรรมชาติ	28
2-13	การสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวในจุลินทรีย์	46
2-14	แสดงวิถีเมตาบอลิซึมในการสร้างสารกลุ่ม eicosanoids จากกรดอะแรคคิโดนิคโดยผ่านวิถีของเอนไซม์ cyclooxygenase	52
2-15	โครงสร้างแบบต่างๆของลิปิดในน้ำ	53
2-16	แสดงพลาสมาไลโปโปรตีน	54
2-17	แสดงองค์ประกอบของไลโปโปรตีนในน้ำเลือด	55
2-18	โครงสร้างของไลโปโปรตีน	56
2-19	การควบคุมการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับโดยปริมาณคอเลสเตอรอลที่ได้รับจากอาหาร (ผ่านลำไส้เล็ก)	56
2-20	การจับกันอย่างจำเพาะระหว่าง apoprotein B-100 ของ LDL receptor ของเยื่อเซลล์	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่		หน้า
2-21	แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำปลา	76
2-22	แสดงบ่อหมักน้ำปลา	77
2-23	แสดงลักษณะของการหมักน้ำปลาภายในบ่อ	77
3-1	ตัวอย่างปลากะตัก	80
3-2	ตัวอย่างกากผสมน้ำหมัก	80
3-3	ตัวอย่างน้ำหมักที่ได้จากการกรองแยกกากออกแล้ว	81
3-4	ตัวอย่างกากที่ได้	81
3-5	แสดง see sand และ celite	83
3-6	ตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้	83
3-7	แสดงเครื่อง Digester Buchi 424	84
3-8	แสดงเครื่อง Soxhlet Buchi 810	84
3-9	แสดงเครื่อง GC 17A ของ SHIMADZU	88
ก-1	โครมาโทแกรมของกรดไขมันมาตรฐาน	95
ก-2	โครมาโทแกรมของไขมันจากปลากะตัก	96
ก-3	โครมาโทแกรมของไขมันจากกากเดือน 1	97
ก-4	โครมาโทแกรมของไขมันจากกากเดือน 9	98
ง-1	ความแตกต่างของปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในกากแต่ละเดือนและปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในปลากะตัก	102
ง-2	ความแตกต่างของปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในน้ำหมักแต่ละเดือนและปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในน้ำปลา	103
ง-3	แสดงเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันแต่ละชนิดในวัตถุดิบ	104
ง-4	แสดงน้ำหนักของกรดไขมันของตัวอย่างแต่ละชนิด	105
ง-5	แสดงน้ำหนักของกรดไขมันของน้ำหมักเดือน 1	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โรคหัวใจ เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับหนึ่งของประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย นักโภชนาการได้แนะนำให้ประชาชนบริโภคปลา เพราะเป็นแหล่งของสารอาหารที่ดี โดยปลามีองค์ประกอบทั่วไปคือ มีน้ำ 55-80 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 17-22 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตปริมาณน้อย แร่ธาตุ 0.8-2.0 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 0.6-15.0 เปอร์เซ็นต์ [4] ไขมันในปลาส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดสายยาวในกลุ่มโอเมกา-3 โดยเฉพาะ EPA (Eicosapentaenoic acid ; C20:5) และ DHA (Docosahexaenoic acid ; C22:6) จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ [29] เรามักจะพบ EPA และ DHA เป็นส่วนประกอบของ structural lipid ในเซลล์สมองส่วนสีเทาซึ่งเป็น และพบในส่วน outer rod segment ในเรตินาของดวงตา นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของเส้นใยประสาทบริเวณกระดูกสันหลังของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม docosahexaenoic acid ยังมีบทบาทสำคัญต่อพัฒนาการของทารกในวัยแรกเกิดเกี่ยวกับระบบประสาทและสมองอีกด้วย [34]

มีรายงานว่ากรดไขมันทั้งสองชนิดนี้ สามารถป้องกันและรักษาโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน หัวใจวาย ไมเกรน เบาหวาน ลดอาการปวดตามข้อของโรคไขข้ออักเสบและลูปัส ลดการอักเสบ ป้องกันและรักษาโรคมะเร็งได้ [17] เนื่องจากโรคดังกล่าวนี้ได้คร่าชีวิตผู้คนปีละเป็นจำนวนมาก จึงมีการรณรงค์ให้มีการบริโภคไขมันอิ่มตัวจากสัตว์ลดลง ซึ่งคาดว่ากรดไขมันอิ่มตัวจากสัตว์ เป็นตัวการที่ทำให้เกิดคอเลสเตอรอลที่มากเกินพอเกาะตามผนังหลอดเลือด อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดหลอดเลือดอุดตันความดันโลหิตสูง ซึ่งก่อให้เกิดโรคอื่นตามมาเช่น ไมเกรน หัวใจวาย และอัมพาต เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีการแนะนำให้คนทั่วไปหันมาบริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากพืชมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ได้มีรายงานการวิจัยว่า การบริโภคน้ำมันจากพืชเพียงอย่างเดียว อาจก่อให้เกิดผลร้ายต่อร่างกายได้ เพราะว่าปัญหาการจับตัวของไขมันในร่างกายเกิดจากการขาดสมดุลของไขมันชนิดต่างๆ มิได้เกิดจากการบริโภคไขมันอิ่มตัวแต่เพียงอย่างเดียว การบริโภคกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 เป็นประจำสม่ำเสมอนั้น จะก่อให้เกิดความสมดุลของไขมันในร่างกาย เนื่องจากกรดไขมัน EPA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ DHA มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนไขมันเป็นพรอสตาแกลนดิน (Prostaglandin) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบ การขับน้ำย่อยที่เป็นกรด การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การรวมตัวของแผ่นเลือด [17,11] พรอสตาแกลนดินเป็นสารคล้ายฮอร์โมนจะถูกสร้างขึ้น ใช้ และทำลายไปภายในเซลล์นั้นๆโดยเอนไซม์ ไม่มีการสะสมไว้ในร่างกาย เนื้อเยื่อแต่ละชนิดจะสร้างพรอสตาแกลนดินในปริมาณที่ต้องการใช้เท่านั้น โดยต้องมีกรดไขมันต้นกำเนิดในปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปของคอเลสเตอรอลไปเป็นน้ำดีในตับเพื่อความสม-ดุลของระบบหมุนเวียนเลือดในร่างกาย [17]

สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมกา-3 (ω-3) จะพบได้จากแหล่งสำคัญคือ ในน้ำมันปลา (fish oil) โดยเฉพาะจากพวกปลาทะเล ในปัจจุบันมีการผลิตอาหารเสริมสุขภาพที่ทำจากน้ำมันปลา และเน้นความสำคัญไปที่ปริมาณกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 มากขึ้น เพราะกำลังอยู่ในความสนใจของผู้คนทั่วไปที่ได้ให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหาร โดยเฉพาะอาหารเสริมสุขภาพต่างๆ ที่สามารถสร้างความสมดุลให้แก่ระบบการทำงานของร่างกาย สามารถป้องกันและรักษาโรคได้ ซึ่งอาหารเสริมดังกล่าวมีราคาแพงและการใช้ยังอยู่ในวงจำกัด จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาถึงปริมาณกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 โดยเฉพาะในอาหารที่เราบริโภคอยู่เป็นประจำซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือน้ำปลา น้ำปลาเป็นอาหารที่คนไทยนิยมบริโภคซึ่งน้ำปลาผลิตมาจากการหมักปลากะตัก โดยปลากะตักที่ใช้ก็เป็นปลาในกลุ่มปลาทะเลชนิดหนึ่งซึ่งมีโอกาสที่จะพบไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาถึงปริมาณของกรดไขมันในกลุ่มนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการบริโภคต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction)
2. เพื่อศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัว ที่มีอยู่ในปลากะตัก, น้ำปลา ตลอดจนน้ำหมักและกากที่ได้จากการหมัก ในกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องมือ gas chromatography
3. เนื่องจากน้ำปลาเป็นอาหารที่คนนิยมบริโภคเป็นประจำถ้าพบสารเหล่านี้ก็จะเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับผู้บริโภค
4. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวในปลากะตัก ก่อนการแปรรูปในกระบวนการผลิต และหลังการแปรรูปออกมาเป็นน้ำปลา

1.2 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

เป็นการศึกษาถึงกระบวนการเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวในปลากะตักที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำปลา และผลผลิตกระบวนการหมักตลอดกระบวนการผลิต

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. หากพบกรดไขมันเหล่านี้ในน้ำปลาจะเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร
2. ได้รับความรู้และเข้าใจถึงขั้นตอนการผลิตน้ำปลา
3. กรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะกรดไขมันชนิดโอเมกา-3 หากพบในปลากะตักสามารถจะนำมาแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ เพื่อการบริโภค ซึ่งเป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลิปิด

"ลิปิด" (lipid) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต มีลักษณะเป็นมัน น้ำมันและไข (fats,oils,waxes) นอกจากนี้ยังรวมถึงสารประกอบอื่นๆที่มีความลื่น (greasy) และไม่รวมกันเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน บางครั้งก็มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วย และเนื่องจากลิปิดมีโครงสร้างแตกต่างกันหลายแบบ จึงมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน [15]

ลิปิดมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์ แต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ชนิดไม่มีขั้ว (non-polar) เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ ปิโตรเลียมอีเทอร์ เบนซิน เฮกเซน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น [15] บางครั้งจึงเรียกสารละลายเหล่านี้ว่า เป็นตัวทำละลายไขมัน (fat solvent) [11,8]

โครงสร้างทางเคมีของลิปิดที่พบในธรรมชาติค่อนข้างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับหน้าที่ทางชีวภาพ ลิปิดทุกชนิดจะมีส่วนของโมเลกุลที่เป็นไฮโดรคาร์บอนมีลักษณะไม่มีขั้ว (non-polar) ซึ่งแสดงคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อยู่ในโครงสร้าง บางชนิดจะมีหมู่ที่มีขั้ว (polar) ทำให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ต่ออยู่กับส่วนที่ไม่มีขั้วด้วย ซึ่งทำให้ลิปิดชนิดนั้นมีคุณสมบัติเป็น amphipathic molecule หรือที่เรียกว่า แอมฟิไฟล์ (amphiphile) ที่สามารถรวมตัวกับน้ำ และขณะเดียวกันก็สามารถรวมตัวกับลิปิดที่ไม่มีขั้วอื่นๆได้ ตัวอย่างของลิปิดกลุ่มนี้ได้แก่ พวกฟอสโฟกลีเซอไรด์ สฟิงโกลิปิด (sphingolipid) เป็นต้น ลิปิดที่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายตรงหรือวงแหวน เช่น ไตรกลีเซอไรด์ เทอร์ปีนอยด์ และสเตอรอยด์ จะมีคุณสมบัติเป็นกลางไม่มีประจุ (neutral lipid) ไม่มีขั้ว และมีความไม่ชอบน้ำสูง จึงมักอยู่รวมกันเป็นก้อน (มีแรงดึงดูดซึ่งกันและกันเรียก hydrophobic interaction คอยยึดโครงสร้างเหล่านี้ให้อยู่ด้วยกัน) เมื่อกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย จึงจำเป็นต้องอาศัยพวกแอมฟิไฟล์เป็นตัวแยกไขมันเหล่านี้ออกจากกัน และช่วยให้กระจายตัวอยู่ในน้ำได้ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิปิดทำหน้าที่ต่างๆที่สำคัญในสิ่งมีชีวิต เช่น เป็นสารที่ร่างกายสะสมไว้เป็นแหล่งพลังงาน (1 กรัม ให้พลังงาน 9 แคลอรี ซึ่งสูงกว่าโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานเท่ากันเพียง 4 แคลอรี) เป็นฉนวน (insulating material) ใน subcutaneous tissue ทำให้ร่างกายอบอุ่นและไม่สูญเสียความร้อน [8] ช่วยป้องกันอวัยวะต่างๆภายในร่างกาย เช่น ไตรกลีเซอไรด์ เป็นสารในโครงสร้างของเยื่อเซลล์ พวกฟอสโฟลิปิด เป็นองค์ประกอบของผิวหนัง ระบบประสาทและเลือด ฟอสโฟลิปิด ไกลโคลิปิด และคอเลสเตอรอล เป็นฮอร์โมนและสารประกอบในน้ำดี และช่วยละลายวิตามินบางชนิด ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี และเค นอกจากนั้นยังให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ กรดลิโนเลอิค กรดลิโนเลนิค และกรดอะแรคคิโดนิค เป็นต้น [15]

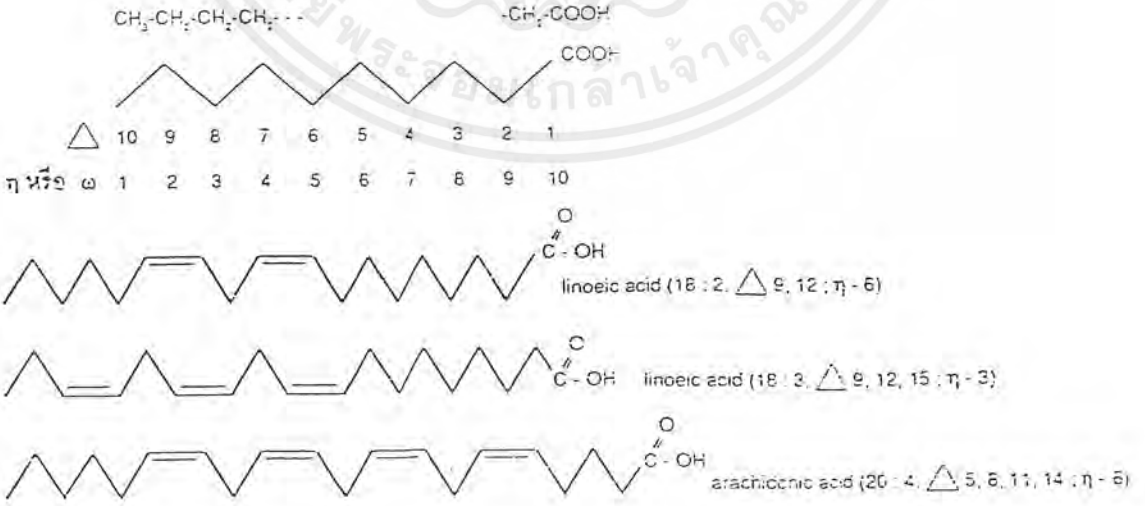
2.2 การจำแนกชนิดของลิปิด

ลิปิดที่พบอยู่ในธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีดังนี้คือ

2.2.1 อนุพันธ์ของกลีเซอรอล

2.2.1.1 เอซิลกลีเซอรอล (acyl glycerol) หรือกลีเซอไรด์ (glyceride) [16]

ลิปิดประเภทนี้เป็นเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมัน (fatty acid) กับแอลกอฮอล์ชนิดกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ ชื่อทางเคมีคือ เอซิลกลีเซอรอล หรือกลีเซอไรด์ มีทั้งโมโน (mono), ได (di) และไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ดังรูปที่ 2-1 ที่พบส่วนใหญ่ในไขมัน (fat) หรือน้ำมัน (oil) ที่ใช้บริโภคคือ ไตรกลีเซอไรด์



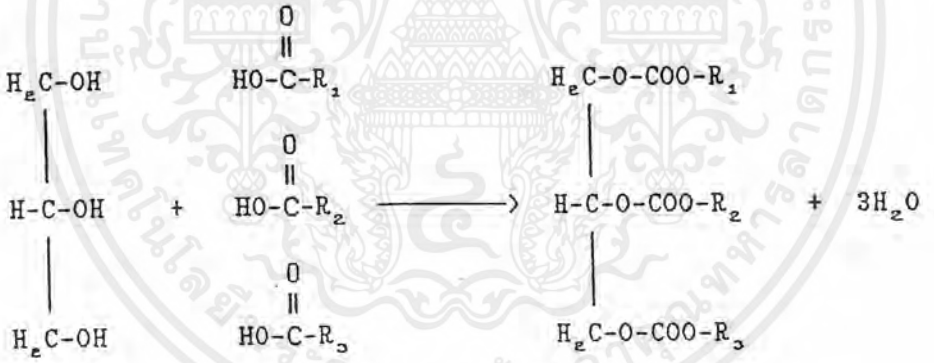
รูปที่ 2-1 โครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ [12,16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมัน จะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น เนยเหลว, เนยเทียม, มันหมู ส่วนน้ำมันจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันถั่งเหลือง, น้ำมันดอกทานตะวัน [15]

ไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol)

ไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไตรกลีเซอไรด์(triglyceride) หรือไขมัน (neutral fat)เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล เนื่องจากโมเลกุลของกลีเซอรอลมีตำแหน่งที่กรดไขมันจะเข้าไปเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันได้ถึง 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2-2 ทำให้ได้ไตรเอซิลกลีเซอรอลหลายชนิด ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่โมเลกุลประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุล ($R_1=R_2=R_3$) เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์อย่างง่าย (simple triglyceride) ถ้าประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกันเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ผสม (mix triglyceride) ในธรรมชาติไขมันที่โมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้งหมดมีน้อยมาก ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกัน ทำให้มีไขมันต่างชนิดกันด้วย ซึ่งไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันและแปรผันไปตามชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุล [15]



รูปที่ 2-2 การรวมตัวของกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ได้เป็นไตรกลีเซอไรด์และน้ำ [1]

2.2.1.2 เอซิลกลีเซอรอลฟอสเฟต (acyl glycerol phosphate)หรือฟอสโฟกลีเซอไรด์ (phosphoglyceride)

สิปิดในกลุ่มนี้มีหมู่ฟอสเฟตและแอลกอฮอล์ ต่ออยู่กับไดกลีเซอไรด์ด้วยพันธะฟอสเฟตเอสเทอร์ หมู่ฟอสเฟตและหมู่แอลกอฮอล์มีคุณสมบัติโพลาร์ (polar) และชอบน้ำ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสโฟกลีเซอไรด์ จึงมีคุณสมบัติเป็นแอมฟิพาติกโมเลกุล (amphipathic molecule) หรือแอมฟิไฟล์ (amphiphile) เมื่ออยู่จะสามารถรวมตัวกันเป็นแบบไมเซลล์ (micelle) เช่น ที่พบอยู่ในโครงสร้างของไลโปโปรตีนในเลือด หรือเรียงตัวกันเป็นแบบสองชั้น (bilayer) เช่น ที่โครงสร้างของเยื่อเซลล์หรือลิโปโซม (liposome) [12]

คุณสมบัติของฟอสโฟลิปิด [16]

1. ฟอสโฟลิปิดบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของแข็งที่เป็นไข (waxy solid) มีสีขาว แต่เมื่อถูกกับอากาศ กรดไขมันอิ่มตัวจะถูกเปอร์ออกซิไดซ์โดยออกซิเจน เปลี่ยนไปเป็นสารเชิงซ้อนสีดำ

2. ฟอสโฟลิปิด ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีน้ำอยู่บ้าง การใช้สารผสมของคลอโรฟอร์ม-เมทานอล สามารถที่จะสกัดฟอสโฟลิปิดออกจากเนื้อเยื่อหรือเซลล์ได้ ฟอสโฟลิปิดสามารถสร้างไมเซลล์ในสารละลายที่มีน้ำได้

3. ที่พีเอช 7 ฟอสโฟลิปิดทุกตัวมีหมู่ฟอสเฟตที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงทำให้หัวโพลาร์ที่มีหมู่แอลกอฮอล์มีประจุมากกว่า1 การที่ฟอสโฟลิปิดมีความแตกต่างของหัวโพลาร์ ทั้งขนาด รูปร่าง และประจุ จึงทำให้เกิดการสร้างไมเซลล์ โมโนเลเยอร์ และไบเลเยอร์ ของไขมัน

4. เมื่อไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดด้วยด่าง จะได้สบู่ของกรดไขมันและกลีเซอรอล-กรดฟอสฟอริค-แอลกอฮอล์

5. การใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบเยื่อบาง (thin-layer chromatography) และโครมาโตกราฟีแบบคอลัมน์โดยใช้กรดซิลิซิค (silicic acid column chromatography) สามารถแยกและวิเคราะห์ฟอสโฟลิปิดได้

2.2.1.3 ไกลโคซิลกลีเซอไรด์ (glycosyl glyceride) หรือไกลโคลิปิด (glycolipid)

เป็นลิปิดที่มีคุณสมบัติแอมฟิพาติก มีหมู่ที่โพลาร์เป็นโมโน-หรือไดแซคคาไรด์ต่อด้วยพันธะไกลโคซิดิค (glycosidic bond) พบมากที่เมมเบรนของสิ่งมีชีวิตที่มีการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) เช่น ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) หรือไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) คลอโรพลาสต์ของพืช ตัวที่พบมากคือ โมโนกาแลคโตซิล ไดเอซิลกลีเซอรอล(monogalactosyl diacylglycerol) และไดกาแลคโตซิล ไดเอซิลกลีเซอรอล (digalactosyl diacylglycerol) ซึ่งจะมีประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของเยื่อคลอโรพลาสต์ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไกลโคลิปิดพวกนี้มักจะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ตัวอย่างเช่น โมโนกาแลคโตซิล ไดเอซิลกลีเซอรอล ของคลอโรพลาสต์ของผักโขม จะมีกรดไขมัน(16:3) 25 เปอร์เซ็นต์และกรดลิโนเลอิค (18:3) 72 เปอร์เซ็นต์ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 อีเทอร์ลิปิด (ether lipids)

กลีเซอไรด์และฟอสโฟกลีเซอไรด์ในบางชนิด นอกจากจะมีไฮโดรคาร์บอนที่ต่ออยู่กับกลีเซอรอลด้วยพันธะเอสเทอร์แล้วยังพบชนิดที่ต่ออยู่กับกลีเซอรอลด้วยพันธะอีเทอร์อีกด้วยกลีเซอไรด์ที่มีพันธะอีเทอร์อยู่ด้วยพบมากในน้ำมันตับปลาฉลาม และที่ระบบประสาทส่วนกลาง พบค่อนข้างน้อยในพืช ในกรณีของฟอสโฟกลีเซอไรด์ พบชนิดที่มีพันธะอีเทอร์อยู่ด้วยเช่น ในโครงสร้างของพลาสมาโลเจน (plasmalogen) ที่พบมากในบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์สมองและประสาทอื่นๆ นอกจากนี้ในสัตว์ชั้นต่ำพวกโปรโตซัว และหอยบางชนิด พบอีเทอร์ลิปิดที่เรียกว่า ฟอสโฟโนลิปิด (phosphonolipids) เช่น ฟอสฟาโนเอทิลลามีน (phosphonoethylamine) [16]

2.2.2 อนุพันธ์ของสฟิงโกซีน (sphingosine)

สฟิงโกซีน (sphingosine) เป็นอะมิโนแอลกอฮอล์ที่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนสายยาว สฟิงโกลิปิด (sphingolipid) เป็นอนุพันธ์ของสฟิงโกซีนจะมีกรดไขมันต่ออยู่กับหมู่ $-NH_2$ ของสฟิงโกซีนด้วยพันธะเอไมด์ [12] สารประกอบที่ได้เรียกว่า เซราไมด์ (ceramide) แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามชนิดของหมู่โพลาร์ที่มาต่อกับหมู่ $-CH_2-OH$ ของสฟิงโกซีนคือ [16]

2.2.2.1 สฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelin)

เป็นชนิดของสฟิงโกลิปิด (sphingolipid) ที่มีอยู่มากที่สุด และเป็นลิปิดที่มีขั้ว (polar) ซึ่งมีหมู่ที่มีขั้วเป็นฟอสโฟโคลีน (phosphocholine) หรือหมู่ที่มีขั้วเป็นฟอสโฟเอทาโนลามีน (phosphoethanolamine) มีคุณสมบัติเป็นแอมฟิพาติกโมเลกุล พบมากในเนื้อเยื่อสมองและประสาท พบบ้างเล็กน้อยในเลือด ไม่พบในพืชและเชื้อจุลินทรีย์ รูปร่างโดยรวมของสฟิงโกไมอีลินซึ่งจะคล้ายคลึงกับฟอสฟาติดิลโคลีน (phosphatidyl choline) และฟอสฟาติดิลเอทาโนลามีน (phosphatidyl ethanolamine) และยังมีคุณสมบัติบางประการที่คล้ายคลึงกันคือ มีประจุเท่ากัน ดังนั้นจึงมักพบปะปนอยู่ด้วยกันที่ lipid bilayer ของเยื่อเซลล์ทั่ว ๆ ไปและที่แผ่น myelin sheath ซึ่งห่อหุ้มเซลล์ประสาท โมเลกุลของสฟิงโกไมอีลินไม่มีกลีเซอรอล แต่ประกอบด้วย กรดไขมันโคลีน กรดฟอสฟอริค และอะมิโนแอลกอฮอล์ (amino-alcohol) [16]

2.2.2.2 เซเรโบรไซด์

เซเรโบรไซด์ มีหลายชนิด แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุล ตัวอย่างเช่น

เคราซิน (kerasin) กรดไขมันเป็นกรดลิกโนเซอริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซรีบรอน (cerebron)	กรดไขมันเป็น กรดเซรีโบรนิค
เนอวอน (nervon)	กรดไขมันเป็นกรดเนอโวนิค
ออกซีเนอวอน (oxynervon)	กรดไขมันเป็นอนุพันธ์ไฮดรอกซีของกรดเนอโวนิค [15]

เซเรโบรไซด์มีหมู่โพลาร์เป็นโมโน- หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ ที่มีคุณสมบัติเป็นกลางและไม่มีประจุ ตัวอย่างเช่น โมโนกาแลคโตซิลเซราไมด์ ((monogalactosyl ceramide; (cer-gal)) ซึ่งจะพบมากที่เซลล์สมองโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ไมอีลินชีต (myelin sheath) ของระบบประสาท โดยที่ลิปิดประเภทนี้มักจะมีกรดไขมันที่เป็นชนิดแอลฟา-ไฮดรอกซีปาลมิเตต (α-hydroxypalmitate) กรดไขมันอื่น ๆ ที่พบในลิปิดชนิดนี้ ได้แก่ กรดไขมันที่มีคาร์บอนสายยาว เช่น C22:0 (behenic), C24:0 (lignoceric), C24:1 (nervonic), α-OH-24:0 (cerebronic) เซเรโบรไซด์ที่มีส่วนประจุเป็นสารพวกโอลิโกแซคคาไรด์ เช่น D-glucose, D-galactose หรือ N-acetyl-D-galactosamine เป็นองค์ประกอบ [1]

ลิปิดในกลุ่มนี้อาจจะมีบางตัวที่มีหมู่ซัลเฟต ($-SO_4$) ต่ออยู่กับกาแลคโตสที่หมู่ไฮดรอกซิลตรงตำแหน่งที่ 3 สารประกอบนี้เรียกว่า ซัลฟาไทด์ (sulphatide) หรือเซเรโบรไซด์ซัลเฟต (cerebroside sulfate) ซึ่งจะมีโครงสร้างต่างกับซัลโฟลิปิดที่พบในพืช

เซเรโบรไซด์บางชนิดมีหมู่โพลาร์ที่มีน้ำตาลต่อกัน 2-4 หน่วย ตัวอย่างเช่น

a. lactosyl ceramide : Cer-glc-(4←1)-gal

b. digalactosyl ceramide : Cer-gal-(4←1)-gal

c. tetraglycosyl ceramide : Cer-glc-(4←1)-gal(4←1)-gal(3←1)

β-N-acetyl galactosamine

2.2.2.3 แกงกลิโอไซด์ (ganglioside)

แกงกลิโอไซด์ เป็นสฟิงโกลิปิดที่เป็นไกลโคลิปิด มีส่วนประจุซึ่งเป็นโอลิโกแซคคาไรด์ แตกต่างจากเซเรโบรไซด์ตรงที่มีกรดไซอะลิค (sialic acid) หรือกรดอะซิทิลนิวรามินิก (N-acetylneuraminic acid; NANA) อย่างน้อย 1 หมู่อยู่ในส่วนที่โพลาร์ของเซเรโบรไซด์ การมีกรดอะซิทิลนิวรามินิกทำให้แกงกลิโอไซด์มีประจุลบที่พีเอช 7 (จำนวนกรดไซอะลิคอาจจะมี 1-3 หน่วย) และมักจะละลายได้ดีในน้ำโดยจะรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ ความสามารถของการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์จะน้อยกว่าลิปิดชนิดอื่นๆ แกงกลิโอไซด์จะพบเฉพาะในสัตว์ ไม่พบในพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมักพบมากที่เซลล์ของระบบประสาท ลิปิดที่พบอยู่ในส่วนของสมองจะมีแกงกลิโอไซด์อยู่ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ แกงกลิโอไซด์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผิวเซลล์ที่บริเวณตัวรับ (receptor site) จำเพาะสำหรับสารใดสารหนึ่งเช่น ฮอร์โมน สารพิษ (toxin) และส่งสัญญาณประสาท (neurotransmitter) เป็นต้น

ส่วนในเซลล์ของพืชและแบคทีเรียจะพบไกลโคลิปิดอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไดกลีเซอไรด์ โดยมีโมโนแซคคาไรด์ต่ออยู่กับหมู่ –OH ที่ตำแหน่งที่ 3 ของไดกลีเซอไรด์ด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) ไกลโคลิปิดชนิดนี้ยังไม่เคยพบในเซลล์สัตว์ชั้นสูง [11,10]

2.2.3 สเตอรอยด์ (steroid)

การสกัดลิปิดออกจากเนื้อเยื่อต่าง ๆ ด้วยตัวทำละลายไขมัน แล้วนำไปต้มกับด่าง (saponified) จะมีบางส่วนของลิปิดไม่ถูก saponified และเหลืออยู่ เรียกว่า nonsaponifiable fraction ซึ่งพบว่า เป็นสารพิษพวกสเตอรอยด์ [15]

สเตอรอยด์ เป็นกลุ่มของสารประกอบที่พบทั้งในพืช สัตว์ และเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่สเตอรอยด์อาจอยู่ในรูปอิสระหรือรวมเป็นเอสเทอร์กับกรดไขมัน โครงสร้างของสเตอรอยด์ทุกชนิด จะมีนิวเคลียสเป็นวงแหวนที่เรียกว่า perhydrocyclopentanophenanthrene สเตอรอยด์ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่มีขั้ว (non-polar) ไม่ชอบน้ำ แต่ละลายได้ในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าถูกแทนที่ด้วยหมู่ที่มีขั้ว เช่นกรดโคลิก (cholic acid) จะทำให้สเตอรอยด์นั้นมีคุณสมบัติเป็นแอมฟิพา-ติกโมเลกุล สามารถทำหน้าที่กระจายไขมันในทางเดินอาหารได้ ตัวอย่างของลิปิดที่เป็นสเตอรอยด์ได้แก่ ฮอร์โมนเพศหญิง (estradiol) ฮอร์โมนเพศชาย (testosterone) เป็นต้น สเตอรอยด์แม้จะมีอยู่ปริมาณเพียงเล็กน้อยในร่างกาย แต่ก็มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ชั้นสูงเป็นอย่างมาก [11,10]

สารจำพวกสเตอรอล (sterol) เป็นอนุพันธ์แอลกอฮอล์ของสเตียรอยด์ ตัวที่พบมากในเซลล์สัตว์ได้แก่ คอเลสเตอรอล พบมากที่สมอง เนื้อเยื่อประสาท เนื้อเยื่อของต่อมต่าง ๆ และพบว่าเป็นส่วนประกอบของก้อนนิ่ว (gallstone) คอเลสเตอรอลมีอยู่ในอาหารที่มาจากสัตว์เท่านั้น มีมากในไข่แดง เนยแข็ง น้ำนม สมอง กุ้งและหอย เป็นต้น เลือดของคนปกติมีระดับของคอเลสเตอรอลประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งจะพบในรูปอิสระและรูปเอสเทอร์ โดยหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 จะถูกเอสเทอริไฟด์กับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอน 16 ถึง 20 อะตอม ตัวอย่างของคอเลสเตอรอลเอสเทอร์เช่น คอเลสเตอริลโอลิเอท และคอเลสเตอริล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิโนลิเอท เป็นต้น คอเลสเตอรอลรูปอิสระ จะพบที่เยื่อเซลล์ ส่วนรูปเอสเทอร์มักพบในรูปไลโปโปรตีนของน้ำเลือด (plasma lipoprotein) การมีคอเลสเตอรอลที่เยื่อเซลล์จะช่วยปรับของเหลว (fluid) ของเยื่อเซลล์ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการทำงานของเยื่อเซลล์

แบคทีเรียในลำไส้เล็ก จะรีดิวส์คอเลสเตอรอลที่พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 และ6 ได้เป็นโคโปรสเตอรอล (corprosterol) ซึ่งพบในอุจจาระ ส่วนสเตอรอลที่พบในพืชเรียกว่า ไฟโตสเตอรอล (phytosterol) มีหลายชนิดได้แก่ สติกมาสเตอรอล (stigmasterol) และ เบตาสิโตสเตอรอล (β-sitosterol) พวกเชื้อราและยีสต์ก็มี เออร์โกสเตอรอล (ergosterol) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินดีเมื่อถูกแสงแดด [11,10]

2.2.4 เทอร์ปีนอยด์ (terpinoid)

ได้แก่ ปิดที่มีส่วนของเทอร์ปีนอยู่ในโครงสร้าง เทอร์ปีน (terpene) เป็นโพลีเมอร์ของไอโซปรีน (isoprene) ซึ่งเป็นสารที่มีคาบอน 5 อะตอม ตัวอย่างของลิปิดประเภทนี้ได้แก่ วิตามินเอ อี และเค ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน โดลิโคลฟอสเฟต (dolichol phosphate) ซึ่งจำเป็นในการสังเคราะห์ไกลโคโปรตีน คือ ทำหน้าที่ส่งคาร์โบไฮเดรตในรูปโมโนแซคคาไรด์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ให้กับโปรตีน เทอร์ปีนที่พบในพืช ได้แก่ ไฟทอล (phytol) เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และเบตา-แคโรทีน (β-carotene) ซึ่งเป็นสารต้นกำเนิดหรือ precursor ของวิตามินเอ เป็นต้น [1]

2.2.5 ไข (wax)

เป็นลิปิดชนิดหนึ่งที่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งมีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 14-36 อะตอม กับแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 16-30 อะตอม [11] ไขที่พบในธรรมชาติประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์หลายๆชนิดผสมกัน นอกจากนี้ยังมีแอลกอฮอล์ที่ไม่ถูกเอสเทอริไฟด์ คีโตน และไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลเป็นเลขคี่รวมอยู่ด้วย ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้เกิดจากการที่กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขถูกตัดหมู่คาร์บอกซิลออก (decarboxylation) ตัวอย่างของสารประกอบเหล่านี้ได้แก่

n-Hexacosanol ($C_{26}H_{53}OH$) พบใน คิวติเคิล, ผิวแอปเปิ้ล

n-Nonacosane ($C_{29}H_{60}$) พบใน คิวติเคิล, แอปเปิ้ล

n-Triacontanol ($C_{30}H_{61}OH$) พบใน ขี้ผึ้ง (bees wax), คิวติเคิล, alfafla, sugar cane เป็นต้น ที่รู้จักกันดีคือ ขี้ผึ้ง ส่วนมากเป็นเอสเทอร์ของไมริซิลแอลกอฮอล์ (myricyl alcohol) กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดปาลมิติคและเซอโรติค (cerotic acid) [15] ไขทุกชนิดมีคุณสมบัติ ไม่รวมตัวกับน้ำ เนื่องจากไม่มีหมู่โพลาร์ ไขสัตว์มักจะถูกสร้างจากต่อมใต้ผิวหนังเพื่อทำหน้าที่หล่อลื่น หรือป้องกันไม่ให้ผิวหนังหรือขนของสัตว์เปียกน้ำ (water-proof agent) ในคน ต่อมสร้างไขมัน (sabaceous gland) จะสร้างไขมันซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ สควอลีน (squalene) และไข ซึ่งไขที่ต่อมไขมันสร้างขึ้นมาจะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำจากผิวหนัง ไขที่เคลือบผิวของใบไม้หรือผลไม้เรียกว่า คิวติน (cutin) เป็นโพลีเมอร์ของกรดไขมันไฮดรอกซี (hydroxy fatty acid) ไขพวกนี้จะปะปนอยู่กับพวกไข ซึ่งเป็นเอสเทอร์ระหว่างแอลกอฮอล์กับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 15-30 อะตอม ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำและป้องกันการติดเชื้อ พืชบางชนิดเช่น ต้นโจโจบา (jojoba) มีเมล็ดที่สะสมไขมันในรูปไข เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้นน้ำมันโจโจบา จึงเป็นน้ำมันที่มีไขเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับไขที่ได้จากน้ำมันที่สกัดจากเชื้ออสุจิของปลาวาฬ (sperm-whale oil) ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเป็นอย่างมาก [12] สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในทะเล เช่น แพลงตอน (plankton) จะใช้ไขเป็นแหล่งให้พลังงานและสะสมพลังงานเก็บไว้ พวกปลาทะเลและสัตว์ทะเลอื่นๆที่กินแพลงตอนเป็นอาหาร จะใช้ไขจากแพลงตอนเป็นแหล่งพลังงาน [11,1]

กรดไขมัน (fatty acid)

ปกติจะไม่พบกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) อยู่ในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะประกอบเป็นไตรกลีเซอไรด์หรือลิปิดอื่นๆ [15] เป็นพวกกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ซึ่งมีหมู่ R เป็นสายไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่อยู่ระหว่าง 2-30 ตัว (หรือยาวกว่า) โดยทั่วไปกรดไขมันที่มีความสำคัญจะอยู่ในช่วง C12 ถึง C22 [12] มีสูตรทั่วไปเป็น RCOOH และมีอยู่มากกว่า 70 ชนิดในสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีทั้งชนิดที่ต่อกันเป็นพันธะเดี่ยวล้วนๆ เรียกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) และชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในสายของโมเลกุล เรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ทำให้ไขมันมีสมบัติแตกต่างกันทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ [1]

ในกลุ่มของกรดไขมันอิ่มตัว จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันชนิดนี้อยู่ในปริมาณมาก จะมีสภาพเป็นไขมัน (fat) ที่อุณหภูมิห้อง การมีพันธะคู่ในกรดไขมันจะมีผลทำให้จุดหลอมเหลวของกรดไขมันลดต่ำลง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังตารางที่ 2-1 และรูปที่ 2-2 ลิปิดที่พบในสัตว์มักจะมีลักษณะของแข็งหรือกึ่งเหลวกึ่งแข็งที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูง แต่ลิปิดที่ได้จากพืชจะมีลักษณะเหลวเป็นน้ำมันเพราะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง ทำให้ไม่เป็นไขหรือตกตะกอนในสภาวะอุณหภูมิปกติ [1]

การเรียกชื่อกรดไขมัน (nomenclature)

มีการตั้งชื่อกรดไขมันซึ่งนิยมใช้ Systemic Nomenclature โดยใช้ระบบ Geneva System of Nomenclature มีหลักการคือ เรียกชื่อกรดไขมันตามจำนวนคาร์บอนอะตอมที่มีอยู่ในโซ่ไฮโดรคาร์บอนนั้น และตัดตัว -e ที่อยู่ท้ายชื่อไฮโดรคาร์บอนนั้นออก แล้วเติมคำว่า –oic ต่อท้าย เช่น ไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 8 อะตอมเรียกว่า octane เมื่อเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอน 8 อะตอม เรียกว่า octanoic acid ถ้าเป็นกรดไขมันอิ่มตัวจะลงท้ายด้วย -anoic เช่น hexadecanoic acid ($CH_3(CH_2)_{14}COOH$) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีพันธะคู่ ให้ต่อท้ายชื่อไฮโดรคาร์บอนนั้นด้วย –enoic เช่น hexadecenoic acid ($CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$) เป็นต้น [8]

การนับจำนวนคาร์บอนอะตอมในกรดไขมัน นิยมใช้ตัวเลขบอกตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) เป็นคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ส่วนหมู่ CH_3 เป็นตำแหน่งสุดท้าย หรือใช้อักษรกรีกระบุตำแหน่งคาร์บอนตัวแรกที่ติดอยู่กับหมู่ –COOH เป็นตำแหน่งแอลฟา (α) คาร์บอนตัวถัดไปเป็นเบตา (β) แกมมา (γ) และ methyl carbon ซึ่งเป็นคาร์บอนตำแหน่งสุดท้ายเป็นโอเมกา (ω หรือ n) เช่น กรดสเตียริค (stearic acid , $C_{18}H_{36}O_2$) หรือ $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ [15]

$$\overset{18}{CH_3}\ (CH_2)_{13}\ \overset{4}{CH_2}\overset{3}{CH_2}\overset{2}{CH_2}\ \overset{1}{COOH}$$

$$\omega \qquad\qquad \gamma\ \beta\ \alpha$$

กรดสเตียริค (stearic acid, $C_{18}H_{36}O_2$) [15]

ในการใช้สัญลักษณ์ย่อสำหรับกรดไขมันแต่ละชนิด จะระบุจำนวนของคาร์บอนที่มีทั้งหมดพร้อมทั้งจำนวนและตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวไว้ด้วย เช่น กรดสเตียริค ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม จะใช้สัญลักษณ์ย่อ C18 ส่วนกรดปาลมิโตเลอิค มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม แต่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนตัวที่ 9 และตัวที่ 10 จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ C16 Δ9 หรือถ้าไม่ต้องการระบุตำแหน่งพันธะคู่ อาจบอกให้ทราบว่า มีจำนวนพันธะคู่ 1 พันธะ จะใช้สัญลักษณ์ C16:1 ส่วนกรดลิโนเลอิค (linoleic acid) ซึ่งมีพันธะคู่ 2 พันธะระหว่างคาร์บอนตัวที่ 9 กับ 10 และคาร์บอนตัวที่ 12 กับ 13 จะใช้สัญลักษณ์ย่อเป็น C18 Δ9,12 หรือ C18:2 เมื่อไม่ต้องการระบุตำแหน่งพันธะคู่ [15]

การนับตำแหน่งคาร์บอนเพื่อบอกตำแหน่งพันธะคู่ในสายไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว มี 2 วิธีคือ

1. นับจากปลาย –COOH และจะนับทุกตำแหน่งของคาร์บอนตัวแรกที่มีพันธะคู่ ใช้สัญลักษณ์การนับเป็น Δ (delta) เช่น กรดลิโนเลอิค C18:2 Δ9,12
2. นับจากปลาย $-CH_3$ โดยใช้สัญลักษณ์เป็น n หรือ ω (omega) และนิยมนับตำแหน่งคาร์บอนของพันธะคู่แรกเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น พันธะคู่ถัดๆไปจะต่างกัน 3 คาร์บอนเสมอ เช่น กรดลิโนเลอิค C18:2 โอเมกา-6 [15]

ตัวอย่างกรดไขมันแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงการเรียกชื่อกรดไขมันตั้งแต่ C1-C30 พร้อมจุดเดือดและจุดหลอมเหลว [29]

จำนวนคาร์บอน	ชื่อตามระบบ	ชื่อสามัญ	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)[a]
1	Methanoic	Formic	8.4	101
2	Ethanoic	Acetic	1606	118
3	Propanoic	Propionic	-20.8	141
4	Butanoic	Butyric	-5.3	164
5	Pentanoic	Valeric	-34.5	186
6	Hexanoic	Caproic	-3.2	206
7	Heptanoic	Enanthic	7.5	223
8	Octanoic	Caprylic	16.5	240
9	Nonanoic	Pelargonic	12.5	256
10	Decanoic	Capric	31.5	271
11	Undecanoic	-	29.3	284

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

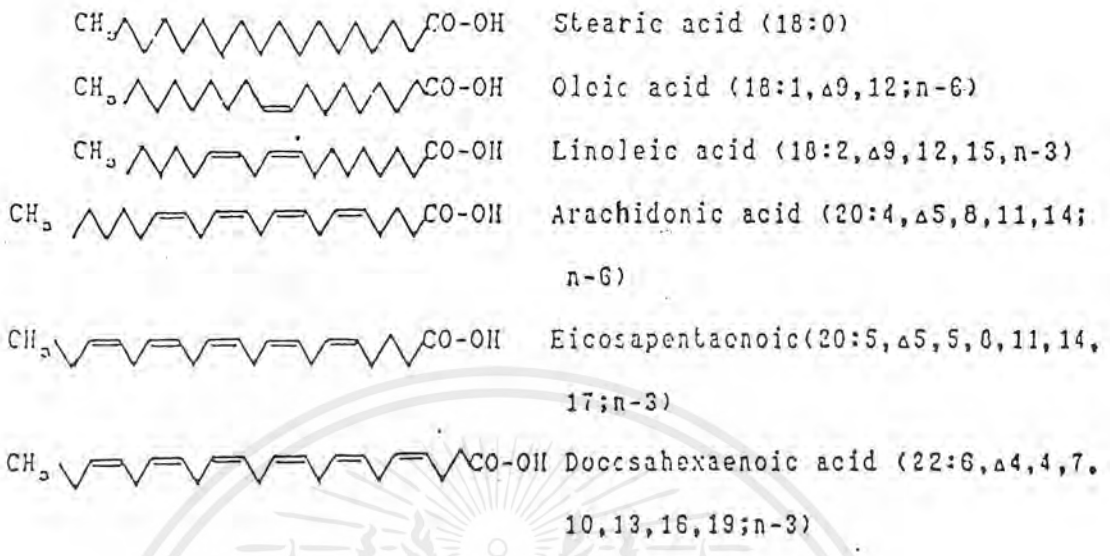
ตารางที่ 2-1 (ต่อ) แสดงการเรียกชื่อกรดไขมันตั้งแต่ C1-C30 พร้อมจุดเดือดและจุดหลอมเหลว [29]

จำนวนคาร์บอน	ชื่อตามระบบ	ชื่อสามัญ	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)[a]
12	Dodecanoic	Lauric	44.8	130*
13	Tridecanoic	-	41.8	140*
14	Tetradecanoic	Myristic	54.4	149*
15	Pentadecanoic	-	52.5	158*
16	Hexadecanoic	Palmitic	62.9	167*
17	Heptadecanoic	Margaric	61.3	175*
18	Octadecanoic	Stearic	70.1	184*
19	Nonadecanoic	-	69.4	-
20	Eicosanoic	Arachidic	76.1	204*
21	Henicosanoic	-	75.2	-
22	Docosanoic	Behenic	80.0	-
23	Tricosanoic	-	79.6	-
24	Tetracosanoic	Lignoceric	84.2	-
25	Pentacosanoic	-	83.5	-
26	Hexacosanoic	Cerotic	87.8	-
27	Heptacosanoic	-	87.6	-
28	Octacosanoic	Montanic	90.9	-
29	Nonacosanoic	-	90.4	-
30	Triacontanoic	Melissic	93.6	-

*จุดเดือดที่ 760 มิลลิเมตรปรอท

[a] วัดที่ 20 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ [11,47]

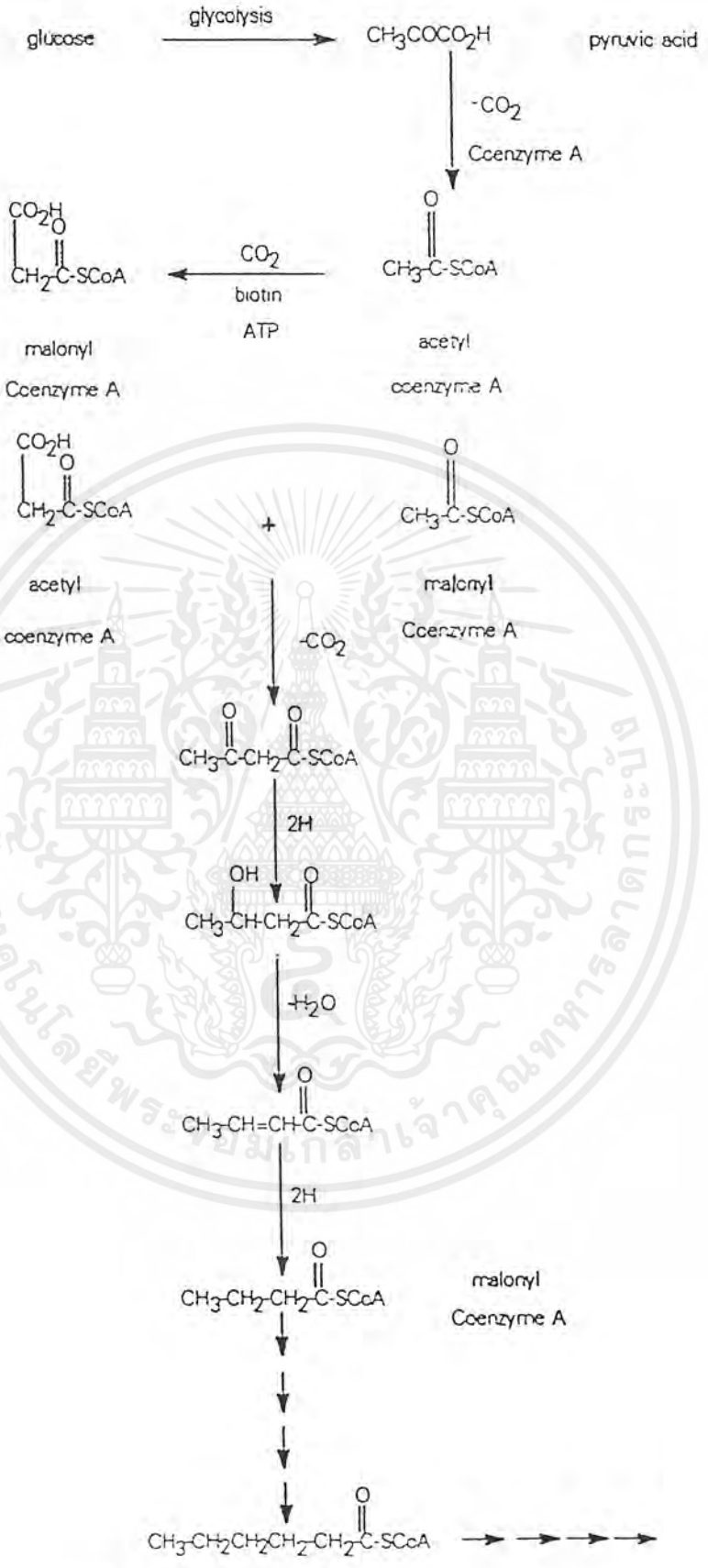
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในลิปิดธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีโครงสร้าง (configuration) ที่พันธะคู่มีไอโซเมอร์แบบซิส (cis) ทั้งสิ้น ซึ่งจะทำให้ในส่วนของโมเลกุลที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอนยาวๆ มีลักษณะงอ เมื่อเทียบกับสายไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวหรือสายไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่แบบทรานซ์ (trans) ดังนั้นการจัดเรียงตัว หรือการอัดตัวของโมเลกุลเป็นผลึกหรือของแข็ง จะเกิดขึ้นได้ยากกว่าโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงทำให้สารที่เป็นซิสไอโซเมอร์จะมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าทรานซ์ไอโซเมอร์ของสารชนิดเดียวกัน [5]

กรดไขมันที่มีพันธะคู่ตั้งแต่สองขึ้นไป การเรียงตัวของพันธะคู่จะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีหมู่ $-CH_2-$ (methylene) คั่นระหว่างคาร์บอนที่ต่อกันด้วยพันธะคู่คือ $-CH=CH-CH_2-CH=CH-$ ซึ่งทำให้ตำแหน่งของพันธะคู่ห่างกันอยู่ 3 คาร์บอนเสมอ [1]

ลักษณะเฉพาะของกรดไขมันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยทั่วไปอีกอย่างหนึ่งคือ ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัว โมเลกุลของกรดไขมันเหล่านี้จะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมที่ต่อกันเป็นสายยาวเป็นจำนวนคู่แทบทั้งสิ้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะกรดไขมันเหล่านี้ได้ถูกสังเคราะห์โดยกระบวนการทางชีวภาพซึ่งมาจากปฏิกิริยาการรวมตัวกันของ acetyl coenzyme A และ malonyl coenzyme A ซึ่งเกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ของน้ำตาลกลูโคสอีกทีหนึ่ง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

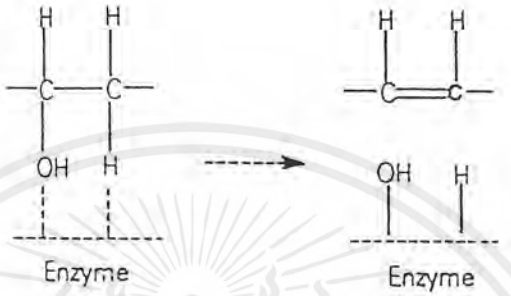


รูปที่ 2-4 แสดงการสังเคราะห์กรดไขมันทางชีวภาพ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35870

จากรูปที่ 2-4 จะเห็นว่า พันธะคู่ที่อยู่ในโมเลกุลของกรดไขมันนั้นเกิดจากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน และเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้พันธะคู่ที่เกิดขึ้นมีโครงสร้างแบบซิส [12] ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงการเกิดพันธะคู่จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน [5]

กรดไขมันในธรรมชาติ

กรดไขมันในธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีไฮโดรเจนจับกับคาร์บอนอยู่เต็ม มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เมื่อ n แทนจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 4 ถึง 24 อะตอม กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยได้แก่ กรดอะซิติค (คาร์บอน 2 อะตอม) และกรดบิวทิริค (คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 6-10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปไม่ละลายน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำกว่า 10 อะตอมจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง [15]

กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ ได้แก่ กรดปาลมิติค (C16) พบกระจายอยู่ทั่วไปในไขมันทุกชนิด มีประมาณ 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่มีอยู่ทั้งหมด กรดไขมันอิ่มตัวชนิดอื่นที่พบมากได้แก่ กรดไมริสติค (C14) และกรดสเตียริค (C18) กรดนี้จะมีในไขมันวัวสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ แต่จะไม่พบกรดสเตียริคกระจายอยู่ในไขมันทั่ว ๆ ไปเหมือนกรดปาลมิติค [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) หรือกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (double bond) เพียง 1 พันธะ (monounsaturated, monoethenoid) โดยที่มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n-2}O_2$ หรือ $C_nH_{2n-1}COOH$ เช่น กรดโอเลอิค (oleic acid; $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$) กรดปาลมิโตเลอิค (palmitoleic acid; $CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ ได้แก่ กรดโอเลอิค ไขมันส่วนใหญ่จะมีกรดโอเลอิคสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์เช่น น้ำมันมะกอก (olive oil) และน้ำมันถั่วลิสง (peanut oil) [15]

3. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่ง (polyunsaturated fatty acid หรือ polyethanoid) หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน [15] แบ่งออกเป็น

3.1 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 คู่ ซึ่งมีสูตรโดยทั่วไปคือ $C_nH_{2n-3}COOH$ ได้แก่ กรดลิโนเลอิค (linoleic acid) มีคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 12 กรดลิโนเลอิคพบมากในน้ำมันพืชเช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดฝ้าย และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น [15]

3.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 3 คู่ ซึ่งมีสูตรโดยทั่วไปคือ $C_nH_{2n-5}COOH$ ได้แก่ กรดลิโนเลนิค (linolenic acid) จะมีคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9,12 และ 15 กรดลิโนเลนิคพบมากในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันลินสีด น้ำมันจากเมล็ดต้นแฟล็กซ์ (flax) น้ำมันตับปลา และน้ำมันจากปลาทะเลชนิดต่าง ๆ [15]

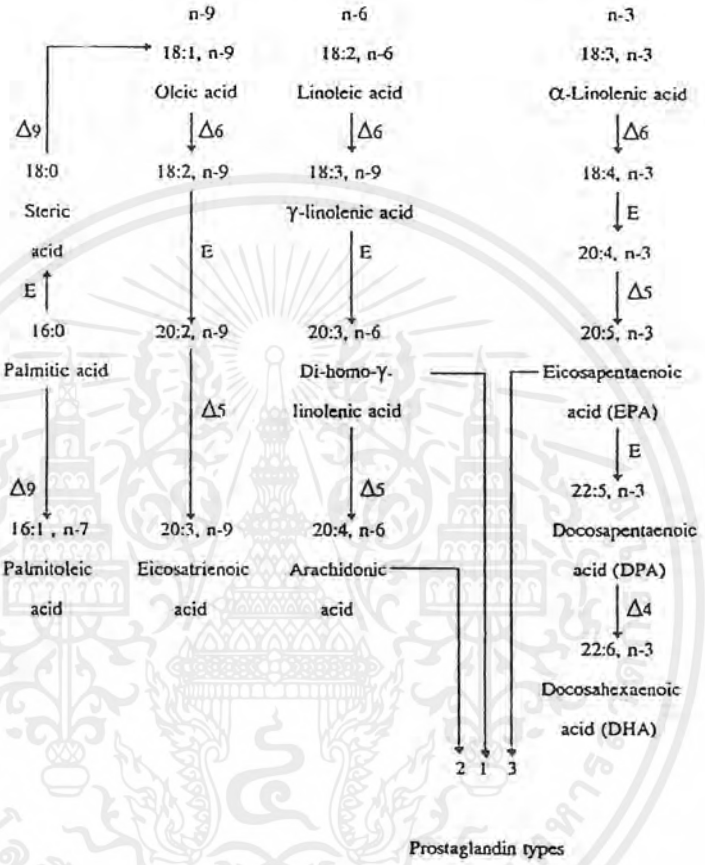
3.3 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 4 คู่ มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n-7}COOH$ ได้แก่ กรดอะแรคคิโดนิค (arachidonic acid) มีคาร์บอนในโมเลกุล 20 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5, 8, 11 และ 14 กรดอะแรคคิโดนิคพบมากในน้ำมันตับปลา และน้ำมันจากปลาทะเลต่าง ๆ นอกจากนั้นยังพบเล็กน้อยในน้ำมันถั่วลิสง [15]

3.4 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 5 และ 6 ได้แก่ eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้มักพบมากในน้ำมันจากสัตว์ทะเลโดยเฉพาะปลาทะเล [1]

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบในไขมันของสัตว์ชั้นสูงอาจจะแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มตามชนิดของกรดไขมันต้นกำเนิด (ซึ่งระบุอยู่ในวงเล็บ) ดังนี้คือ กลุ่ม n-3 (linolenic acid) กลุ่ม n-6 (linoleic acid) กลุ่ม n-7 (palmitoleic acid) และกลุ่ม n-9 (oleic acid) ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอื่นๆซึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากกรดไขมันต้นกำเนิดโดยกระบวนการเติมคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

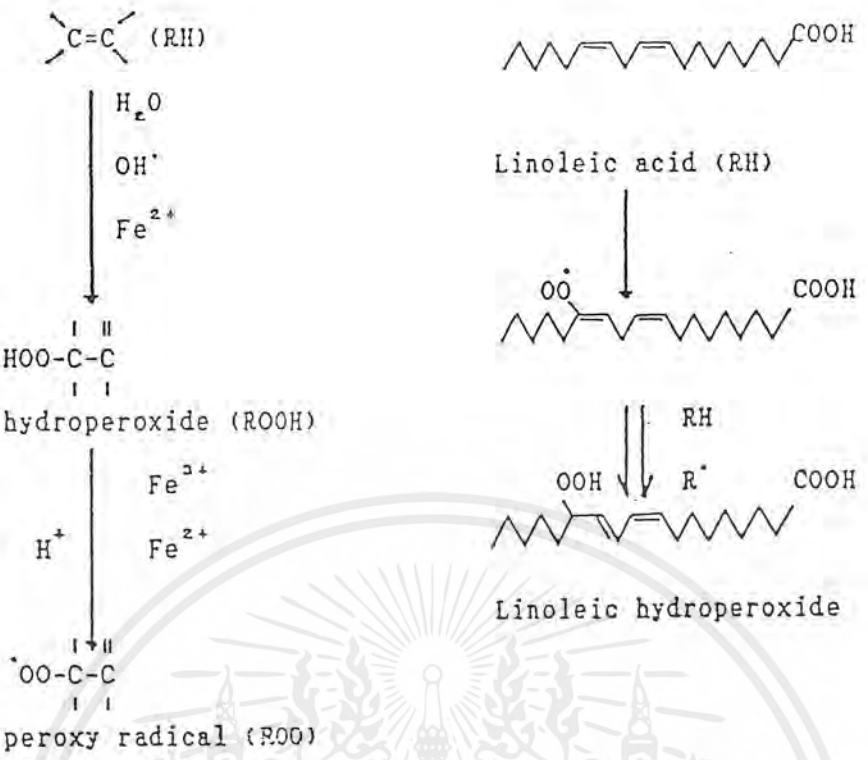
(elongation) และกระบวนการเติมพันธะคู่ (desaturation) ในเมตาบอลิซึมของกรดไขมันโดยเอนไซม์ elongase และ desaturase ตามลำดับ [16] ดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 การเติมคาร์บอน (elongation,E) และตำแหน่งของการเติมพันธะคู่ (desaturation ระบุด้วย Δ) ของกรดไขมันในเมตาบอลิซึมของไขมัน [16]

การมีพันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัว จะทำให้กรดไขมันประเภทนี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ได้ง่ายเช่น H_2O_2 (hydrogen peroxide), O_2 (superoxide anion radical) หรือ $OH^{\cdot}$ (hydroxy radical) ปฏิกิริยานี้จะเปลี่ยนกรดไขมันให้เป็นอนุพันธ์ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide ROOH) กระบวนการนี้เรียกว่า ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) [1] ดังรูปที่ 2-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-7 ปฏิกิริยาการเกิดลิปิดออกซิเดชัน [11]

การเกิดลิปิดออกซิเดชันของ linolenic acid จะได้ linolenic hydroperoxide หรือ peroxide และสารอื่น ๆ อีกประมาณ 20 ตัว ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) เนื่องจากมีสารตัวกลางเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะพยายามดึงอิเลคตรอนจากไฮโดรเจนของชีวโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกัน เช่น ลิปิดหรือโปรตีน ทำให้เกิดผลเสียหายต่อโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ นอกจากนี้ลิปิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) เมื่อสะสมมากขึ้นจะสลายตัวให้อนุมูลลิปิดเปอรอกซี (lipid peroxy radical; ROO) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่ไวมาก การสลายตัวนี้จะถูกเร่งโดย Fe^{3+} [1]

การเหม็นหืน (rancidity) ของอาหารชนิดที่มีไขมันสูงนั้นส่วนหนึ่งเกิดเนื่องมาจาก การเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ทำให้กลิ่นในไขมันนั้นมักเป็นสารที่ระเหยและกำจัดออกยาก (มีความดันไอต่ำ) และอาจเกิดจากสารใหม่จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวอย่างเช่น กลิ่นของน้ำมันปลา มาจาก 2-trans-4-cis-7-cis-decatrienal [29] เกิดจากสารที่มีไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ที่มีความไม่อิ่มตัวสูง ซึ่งสามารถจะเกิดได้เรื่อย ๆ เมื่อน้ำมันสัมผัสกับอากาศ กรดไขมันที่มีพันธะคู่จะไวต่อออกซิเจนในอากาศ และยิ่งกรดไขมันมีพันธะคู่มากเท่าไร อัตราการถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในอากาศจะยิ่งสูง ดังตัวอย่างเช่นกรดลิโนเลอิค (linoleic acid) ซึ่งมีพันธะคู่ 2 คู่ จะถูกออกซิไดซ์ได้เร็วกว่ากรดโอเลอิค (oleic acid) ที่มีพันธะคู่เพียงคู่เดียวประมาณ 20 เท่า อัตราการออกซิไดซ์โดยออกซิเจนนี้จะยิ่งสูงเมื่อมีแสงสว่าง น้ำ ความร้อน หรือเกลือโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [28,24] แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถยับยั้งได้โดยสารบางชนิด สารที่จะชะลอหรือยับยั้งการออกซิไดซ์ได้ เรียกว่า สารแอนติออกซิแดนท์ (anti-oxidant) สารดังกล่าวนี้มักจะเป็นสารจำพวกหมู่ฟีโนลิคที่ถูกบดบัง (hindered phenol) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวดักอนุมูลอิสระ อันเป็นต้นเหตุของปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเหม็นหืนของไขมัน สารระงับการเหม็นหืนที่สำคัญที่สุด ซึ่งมีอยู่ในไขมันแทบทุกชนิด มีชื่อว่า โทโคเฟอรอล (tocopherol) หรือวิตามินอี [5,37] นอกจากนี้แล้วยังมีสารที่สังเคราะห์ขึ้นมาเองได้เช่น สาร BHT (butyrated hydroxy toluene), BHA (butyrated hydroxy anisole) [32] ดังนั้น การสกัดไขมันหรือ เนื้อเยื่อเซลล์ต่างๆ ที่มีปริมาณแอนติออกซิแดนท์จากธรรมชาติต่ำ อาจมีการเติมสารแอนติออกซิแดนท์สังเคราะห์ เช่น BHT ลงไปเพื่อชะลออัตราการออกซิไดซ์ลิปิด และควรมีก๊าซไนโตรเจนสำหรับเป่าไล่ออกซิเจนในหลอดทดลองด้วย ซึ่งจะทำให้การเติมแอนติออกซิแดนท์อาจไม่จำเป็น เพราะสารแอนติออกซิแดนท์บางครั้งอาจจะรบกวนระบบการแยกสารในโครมาโทกราฟีได้ [2]

ตารางที่ 2-2 ตัวอย่างของกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ [11]

สัญลักษณ์*	ชื่อสามัญ	ชื่อตามระบบ IUPAC	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดไขมันอิ่มตัว			
12:0	Lauric	Dodecanoic	44.2
14:0	Myristic	Tetradecanoic	53.9
16:0	Palmitic	Hexadecanoic	63.1
18:0	Stearic	Octadecanoic	69.6
20:0	Arachidic	Eicosanoic	76.5
22:0	Behenic	Docosanoic	81.0
24:0	Lignoceric	Tetracosanoic	86.0
กรดไขมันไม่อิ่มตัว			
16:1,Δ9 ; n-7	Palmitoleic	Hexadecenoic	-0.5
18:1,Δ9 ; n-9	Oleic	Octadecenoic	13.4
18:2,Δ9,12 ; n-6	Linoleic	Octadecadienoic	-5.0
18:3,Δ9,12,15; n-3	Linolenic	Octadecatrienoic	-11.0
20:4,Δ5,8,11,14; n-6	Arachidonic	Eicosatetraenoic	-49.5

* จำนวนคาร์บอน : จำนวนพันธะคู่ ตำแหน่งพันธะคู่ระบบ Δ ; ตำแหน่งพันธะคู่ระบบ n (เฉพาะพันธะแรกด้านปลาย CH_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid)

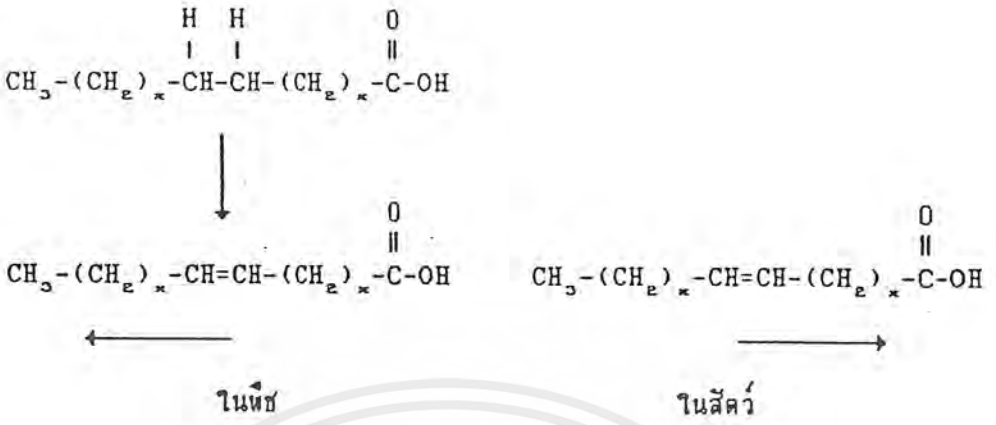
กรดไขมันจำเป็น คือ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ได้แก่ กรดลิโนเลอิค กรดลิโนเลนิค (ดังตารางที่ 2-2) ซึ่งร่างกายของคนและสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ส่วนกรดอะแรคคิโดนิคนั้นก็จัดว่าเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่สามารถสร้างขึ้นในร่างกายมนุษย์ได้จากกรดลิโนเลอิค ซึ่งมีมากในน้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วลิสงและน้ำมันถั่วเหลือง กรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายนั้นมีความสำคัญในการสร้างพรอสตาแกลนดิน (prostaglandin, PG) ซึ่งเป็นสารที่บทบาทในการทำหน้าที่ภายในร่างกายมาก เช่น การขับน้ำย่อยที่เป็นกรด การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบ การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การรวมตัวของแผ่นเลือด เป็นต้น [15] ดังนั้นกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันชนิดเหล่านี้เป็นองค์ประกอบ จะเป็นชนิดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง [1]

2.3 การสังเคราะห์กรดไขมัน

ในพืช สัตว์ และแบคทีเรียจะสังเคราะห์กรดไขมันโดยใช้เอนไซม์ fatty acid synthase ซึ่งจะให้แต่คาร์บอน 16 ตัวหรือกรดปาลมิติค (palmitic acid) เป็นไขมันหลัก ส่วนกรดไขมันอื่นๆจะได้จากการ elongation และ desaturation การทำงานของเอนไซม์ elongase และ desaturase ในพืชและสัตว์จะแตกต่างกันมาก ส่วนในแบคทีเรียไม่ค่อยพบกรดไขมันที่มีสายไฮโดรคาร์บอนที่ยาว และมีกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากนัก จึงทำให้เอนไซม์ elongase และ desaturase ในแบคทีเรียไม่ค่อยมีการศึกษากันเท่าที่ควร การเกิดพันธะคู่ในแบคทีเรีย พืช และสัตว์จะแตกต่างกันมาก ในพืชจะมีเอนไซม์ที่จะฟอร์มพันธะคู่ไปทางด้านหมู่เมทิล (CH_3 group) ในสัตว์ เอนไซม์นี้จะขาดหายไป แต่จะฟอร์มพันธะคู่ไปทางหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) [1] ดังในรูปที่ 2-8

ถ้าเริ่มจากกรดสเตียริค ทั้งพืชและสัตว์จะสามารถเปลี่ยนเป็นกรดโอเลอิค (C18:1) จากรูปที่2-8 พืชจะสร้างพันธะคู่ต่อไปที่ตำแหน่ง 12 และ 15 หรือสร้างไปทางด้านหมู่เมทิล และพืชบางชนิดอาจจะสร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่งที่ 6 ได้ (ไปทางหมู่คาร์บอกซิล) แต่ในพวกสัตว์นั้นจะมีเอนไซม์ 9,6,5,4 desaturase ซึ่งสามารถสร้างพันธะคู่ไปทางหมู่คาร์บอกซิลิคเท่านั้น [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

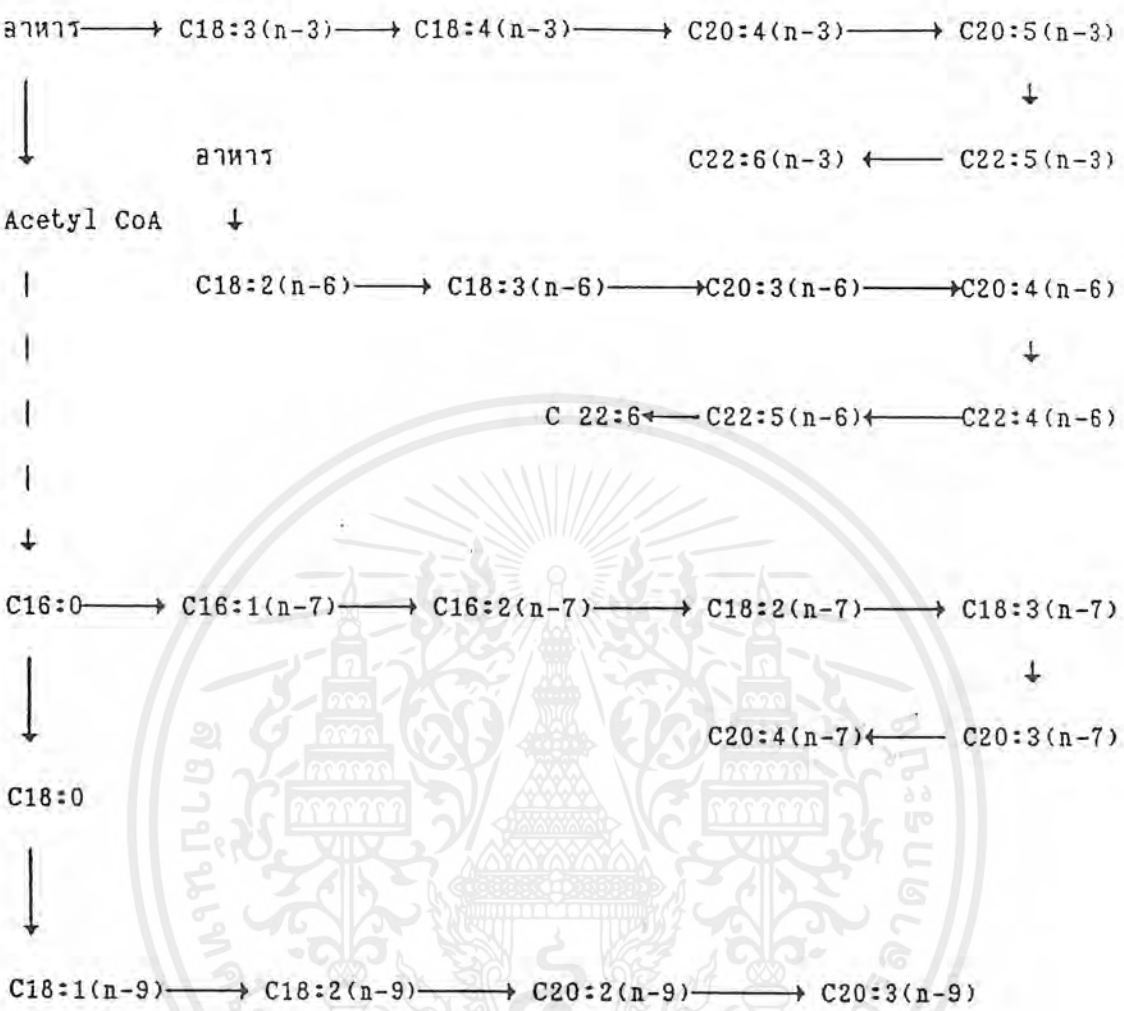


รูปที่ 2-8 ปฏิกิริยา desaturation ในพืชและสัตว์ [2]

กรดลิโนเลอิค (C18:2) และกรดลิโนเลนิค (C18:3) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พรอสตาแกลนดิน และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนอื่นๆของเยื่อเซลล์และเซลล์ประสาท กรดไขมันทั้งสองชนิด คนไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จะต้องได้รับจากอาหาร จึงจัดเป็นกรดไขมันจำเป็น ปริมาณของกรดไขมันทั้งสองชนิดในอาหารหรือน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid) ในเซลล์ จึงมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดไขมันทั้งสองในอาหารเป็นสำคัญ การสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม อาจสรุปได้ดังรูปที่ 2-9 [1]

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่เซลล์สังเคราะห์ขึ้นเองได้ (n-9) เมื่อถูกนำไปใช้ในเยื่อเซลล์ทดแทนกรดไขมันจำเป็นนั้น ไม่สามารถจะทำหน้าที่แทนกรดไขมันจำเป็นได้ทุกอย่างเช่น การป้องกันการระเหยของน้ำทำได้ไม่ดี ทำให้เยื่อเซลล์ที่ขาดกรดไขมันจำเป็นนั้นสูญเสียน้ำออกจากเซลล์มาก ทำให้มีอาการผิวแห้ง และอาจมีอาการของโรคผิวหนังอื่นๆตามมาได้ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 วิถีการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน [2]

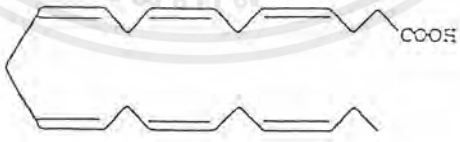
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 บทบาทของ EPA และ DHA

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ปลาทะเลหรือน้ำมันปลา มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จำเป็นต้องได้รับจากการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันดังกล่าว จากที่มีการศึกษาวิจัยมากมาย พบว่า กรดไขมันที่มีความสำคัญและน่าสนใจคือ กรดไอโคซะเพนตะอิโนอิค (Eicosapentaenoic acid; EPA ; C20:5) [54] เป็นกรดไขมันชนิดที่มีคาร์บอน 20 อะตอม มีพันธะคู่ 5 คู่อยู่ตรงตำแหน่งที่ 5, 8, 11, 14, 17, 20 เริ่มจากปลายกลุ่มเมทิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 จึงจัดเป็นพวก n-3 หรือโอเมกา-3 ดังแสดงในรูปที่ 2-10

รูปที่ 2-10 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ EPA [54]

กรดโดโคซะเฮกซะอิโนอิค (Docosahexaenoic acid; DHA; C22:6) [34] เป็นกรดไขมันชนิดที่มีคาร์บอน 22 อะตอม มีพันธะคู่ 6 คู่อยู่ตรงตำแหน่งที่ 4, 7, 10, 13, 16, 19 เริ่มจากปลายกลุ่มเมทิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 จึงจัดเป็นพวก n-3 หรือโอเมกา-3 เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ DHA [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แหล่งของ EPA และ DHA

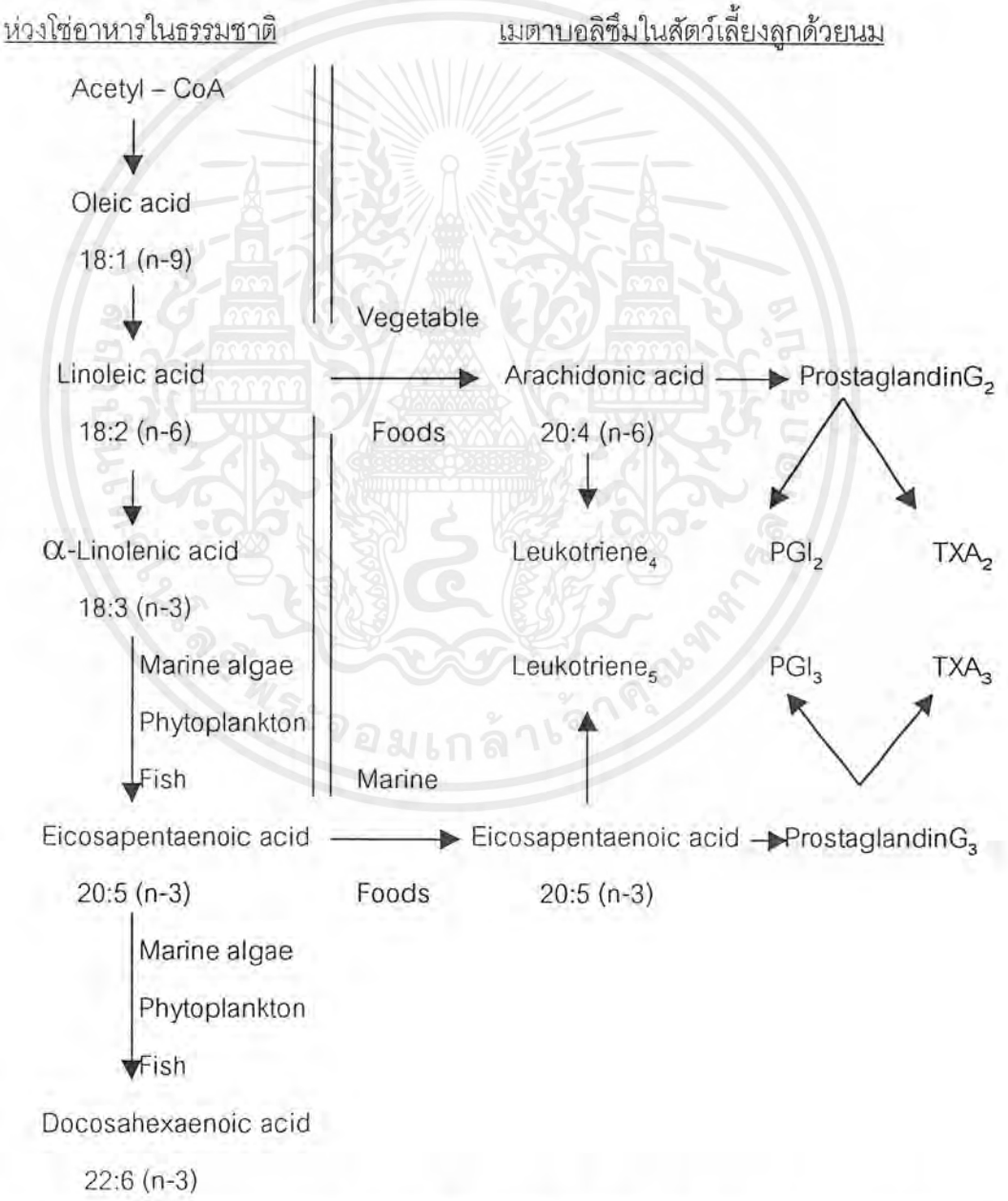
เบื้องหลังที่สำคัญที่ทำให้ทราบแหล่งและความสำคัญของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว EPA และ DHA คือ ก่อนหน้าที่จะมีการค้นพบความสำคัญอันนี้นั้น ประชากรโลกโดยเฉพาะแถบยุโรปได้เสียชีวิตลงจากโรคหัวใจขาดเลือดและเส้นเลือดหัวใจอุดตันเป็นจำนวนมาก รวมทั้งทหารในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการผ่าศพพิสูจน์การตาย พบว่ามีไขมันอุดตันอยู่ในเส้นเลือดอย่างมากมาย จึงได้มีการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ชาวตะวันตก ระหว่างปีค.ศ. 1970-1979 ถึงสาเหตุของการอุดตันดังกล่าวอย่างจริงจัง โดยมุ่งประเด็นไปยังอาหารที่ใช้บริโภคเป็นหลัก ทำการศึกษาเปรียบเทียบการตายของมนุษย์กลุ่มต่างๆกับอาหารที่ใช้บริโภคเป็นประจำ [1] พบว่า อัตราการตายเนื่องจากหัวใจขาดเลือดของชาวเอสกิโม ที่เกาะกรีนแลนด์ ประเทศเดนมาร์ก ต่ำกว่าอัตราการตายเนื่องจากโรคเดียวกันของชาวเดนมาร์ก และทั้งๆที่อาหารของชาวเอสกิโมมีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงกว่าอาหารของชาวเดนมาร์กถึงเท่าตัว แต่ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดของชาวเอสกิโมต่ำกว่าปริมาณในเลือดของชาวเดนมาร์กมาก และเมื่อนำชาวเอสกิโมจากเกาะกรีนแลนด์ไปอยู่ที่เดนมาร์ก และให้รับประทานอาหารแบบของชาวเดนมาร์กแทน ปรากฏว่า ระดับของคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของชาวเอสกิโมเพิ่มขึ้นอย่างมาก และจากการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารหลักของชาวเอสกิโม ซึ่งประกอบด้วยปลาทะเล แมวน้ำ นักวิทยาศาสตร์พบว่า ไขมันพวกนี้มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง โดยส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิด n-3 ที่มีไฮโดรคาร์บอนสายยาว 20-22 ตัว และมีพันธะคู่ 5-6 คู่ (EPA และ DHA) ขณะที่ไขมันหลักของอาหารของชาวเดนมาร์กมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าไม่อิ่มตัว และส่วนใหญ่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเป็น กรดลิโนเลอิค (n-6) [1]

ชาวญี่ปุ่น (โดยเฉพาะที่เกาะโอกินาวา) ซึ่งอาหารหลักที่บริโภคเป็นประจำส่วนใหญ่เป็นปลาทะเล จะมีระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่ม n-3 ในเนื้อเยื่อไขมันมาก และไม่ค่อยมีอาการของหลอดเลือดหัวใจตีบตัน แต่ในปัจจุบัน คนญี่ปุ่นรุ่นใหม่ได้รับเอาวัฒนธรรมการกินแบบชาวตะวันตกมากขึ้น ทำให้อัตราการตายจากอาการหลอดเลือดตีบเพิ่มขึ้น ซึ่งผลจากการศึกษาต่อๆมาได้สนับสนุนให้เห็นความสำคัญของไขมันจากแหล่งอาหารทะเลต่อการลดปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1 สัตว์ทะเล

แหล่งที่พบ EPA และ DHA โดยทั่วไปนั้นจะพบในสัตว์ทะเล [55] ส่วนในร่างกายของคนสามารถเปลี่ยนกรดลิโนเลนิค (linolenic acid) ซึ่งอยู่ในกลุ่มโอเมกา-3 เป็นได้ทั้ง EPA และ DHA แต่เปลี่ยนได้ด้วยอัตราที่ช้ามาก โดยเฉพาะเมื่อมีกรดลิโนเลอิค (linoleic acid) เข้ามาแข่งขันด้วย อัตราการเปลี่ยนเป็น EPA และ DHA จะยิ่งช้าลง [55] รูปที่ 2-12 แสดงโซ่อาหาร (food chain) ของกรดไขมัน EPA และ DHA ในธรรมชาติ



รูปที่ 2-12 แสดงโซ่อาหาร (food chain) ของกรดไขมัน EPA และ DHA ในธรรมชาติ [55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EPA และ DHA สามารถพบได้ในน้ำมันจากสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2-3 จะเห็นได้ว่า ปริมาณ EPA และ DHA ที่พบในสัตว์ทะเลจะมีความแปรปรวนและมีปริมาณที่ไม่แน่นอน ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ ชนิดของสัตว์ทะเล แหล่งที่อยู่ แหล่งอาหารของสัตว์ทะเล สายพันธุ์ เพศ ขนาด ส่วนต่างๆของร่างกาย และฤดูกาล เป็นต้น [55]

ตารางที่ 2-3 ปริมาณของกรดไขมันทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่กินได้) ปริมาณโอเมกา-6ทั้งหมด, กรดลิโนเลอิก, กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3ทั้งหมดที่พบในปลาสด [36]

ปลาสด (มิลลิกรัม/100กรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณ n-6ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)	18:3 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	20:5,22:5, 22:6 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณ n-3ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)
Angelfish, yellow tailed[3]	1200	289	11	191	192
Barracouta	600	23	2	256	261
Barramundi[3]	800	131	14	84	99
Barramundi[3]	600	99	4	122	127
Barramundi[3]	2100	82	35	520	555
Barred Grubfish[2]	800	49	du	377	384
Batfish, spotted[3]	1700	307	6	364	371
Bream[3]	4000	75	26	572	598
Bream[3]	1600	53	40	543	582
Bream, black	800	58	2	275	282
Bream, golden	1100	110	3	321	332
Bream, rosy threadfin[3]	700	80	3	271	276
Bream, sea[2]	1020	64	du	454	454
Cat fish fork-tailed[3]	1400	236	6	244	253
Cod[3]	1100	79	1	308	308
Cod, Antarctic[3]	4100	46	0	756	756
Cucumber Fish[2]	720	36	du	310	312
Cuttlefish[2]	1340	32	du	752	752
Dory, John	600	28	1	256	258
Dory, John[3]	1100	48	5	437	442
Dory, silver	900	24	0	242	242
Drummer	10700	427	71	1271	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) ปริมาณของกรดไขมันทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัมของส่วนที่กินได้), ปริมาณโอเมกา-6ทั้งหมด, กรดลิโนเลอิก, กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3ทั้งหมดที่พบในปลาสด [36]

ปลาสด (มิลลิกรัม/100กรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-6ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)	18:3 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	20:5,22:5, 22:6 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-3ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)
Drummer, silver[3]	2700	242	53	239	290
Emperor, lesser-spangled[3]	800	108	5	252	260
Emperor, red[3]	700	56	4	258	266
Emperor, threadfin[3]	800	130	8	237	248
Flathead[3]	1600	22	1	410	410
Flathead, heart headed[3]	600	67	4	181	187
Flathead, rock[3]	2900	220	8	331	344
Flathead, rock	700	87	2	207	212
Flathead, sand, and skin	1300	63	30	413	453
Flathead, tiger	600	44	1	232	238
Flounder[3]	700	30	14	157	171
Flounder, green back, with skin	1200	133	11	307	333
Garfish, southern sea[3]	1000	159	30	290	320
Garfish, southern sea[3]	7100	504	478	363	928
Garfish, southern sea, with skin	1400	114	33	497	539
Gemfish	2000	78	9	563	598
Gemfish[3]	6400	248	103	721	824
Goatfish, spotted[3]	800	79	2	295	304
Goatfish, spotted golden[3]	900	81	5	314	326
Grenadier, blue, with skin	3100	113	tr	678	772
Grenadier, blue[3]	500	20	4	175	179
Groper, blue	800	56	2	229	239
Groper, blue[3]	7800	1006	22	3247	3269
Gurnard, long finned[3]	800	71	4	308	312
Gurnard perch, ocean[2]	990	85	du	337	343
Gurnard perch, red	600	42	10	192	208
Gurnard, red	2000	150	9	550	574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) ปริมาณของกรดไขมันทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัมของส่วนที่กินได้), ปริมาณโอเมกา-6ทั้งหมด, กรดลิโนเลอิก, กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3ทั้งหมดที่พบในปลาสด [36]

ปลาสด (มิลลิกรัม/100กรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณก-6ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)	18:3 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	20:5,22:5, 22:6 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณก-3ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)
Kingfish[3]	1900	54	32	469	500
Kingfish, black-banded[3]	9100	155	60	475	536
Leatherjacket[3]	500	93	5	125	130
Leatherjacket[3]	700	40	6	271	278
Leatherjacket, Chinaman	700	63	1	256	265
Leatherjacket, mosaic[2]	770	127	du	282	284
Leatherjacket, Scaber	700	89	2	265	272
Leatherjacket, six spined[2]	750	94	du	207	216
Leatherjacket, Degan's[2]	870	72	du	404	404
Ling, pink	600	35	1	250	255
Ling, rock	600	33	2	235	239
Little Conger Eel[2]	790	44	du	343	345
Lizardfish, white spotted[3]	800	75	7	310	320
Lobster, cooked[1]	900	82	3	184	187
Long-snouted boarfish[2]	790	57	du	348	348
Luderick	1600	253	32	232	311
Mackerel, Indian[3]	1800	176	28	573	612
Mackerel, blue, with skin	3300	204	34	1108	1204
Mackerel, Jack[2]	920	15	du	501	503
Morwong[3]	1000	66	5	290	295
Mullet3	3000	359	14	595	637
Mullet (small)[3]	1800	73	13	496	510
Mullet, jumper[3]	4900	227	92	754	846
Mullet, red	1400	69	2	449	460
Mullet, sea, with skin	9700	378	64	1945	2359
Mullet, yelloweye[3]	1900	183	39	377	416
Mulloway[3]	4400	274	46	871	916
Nannygai	900	38	2	319	332

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) ปริมาณของกรดไขมันทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัมของส่วนที่กินได้), ปริมาณโอเมกา-6ทั้งหมด, กรดลิโนเลอิก, กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3ทั้งหมดที่พบในปลาสด [36]

ปลาสด (มิลลิกรัม/100กรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-6ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)	18:3 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	20:5,22:5, 22:6 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-3ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)
Oyster, Sydney rock	4000	184	109	1024	1404
Parrotfish, blue-barred orange[3]	600	116	2	156	159
Perch, golden	2300	265	79	460	602
Perch, northern pearl[3]	800	84	1	269	274
Pike, long finned	800	67	8	239	251
Piked dogfish[1]	910	44	du	418	419
Pomfret, black[3]	3900	510	128	899	1049
Prawn, king[1]	900	62	6	168	174
Prawn, school[1]	80	45	3	137	140
Puller, green[3]	1000	83	11	354	371
Queenfish[3]	2000	243	13	430	463
Redfish[3]	1800	27	12	400	412
Rock-cod, yellow-spotted[3]	1900	204	9	579	604
Ruff, Tommy[3]	800	70	6	254	260
Rusty Catshark[2]	740	60	du	308	309
Salmon, Atlantic	7100	592	108	1836	2131
Salmon, Australian	1500	48	5	615	626
Salmon, Australian[3]	1800	179	13	571	584
Salmon, threadfin[3]	3300	296	12	679	698
Sandy-backed stingaree[2]	870	127	du	250	254
Scad, yellowtail	4600	204	43	1461	1661
Scallop, bay	1200	68	10	388	439
Scallop, raw[1]	700	20	6	150	156
Sea-perch, high brow[3]	1500	205	4	380	402
Sea-perch, one-band[3]	1000	81	7	331	343
Shark, angel[2]	640	58	du	248	249
Shark, draughtboard[2]	750	58	du	215	221
Shark, Ogilby's ghost[2]	970	50	du	440	442

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) ปริมาณของกรดไขมันทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัมของส่วนที่กินได้), ปริมาณโอเมกา-6ทั้งหมด, กรดลิโนเลอิก, กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3ทั้งหมดที่พบในปลาสด [36]

ปลาสด (มิลลิกรัม/100กรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-6ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)	18:3 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	20:5,22:5, 22:6 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-3ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)
Skate, long-snouted[2]	8300	81	du	311	312
Skate, Melbourne[2]	9200	65	du	370	370
Snapper, with skin	2000	116	5	524	546
Snapper[3]	2100	200	10	393	403
Snapper, red[3]	1400	232	5	373	378
Snapper, red[3]	800	42	4	301	305
Snapper, Russell's[3]	600	68	0	197	200
Snapper, threadfin[3]	600	75	2	198	204
Snook[3]	900	71	5	329	334
Spinefoot, pin-spotted[3]	2400	315	27	583	614
Spotted bat fish (butterfish)[3]	1700	307	6	365	371
Squid, arrow[2]	1430	19	du	829	830
Squid, raw[1]	1200	30	0	395	400
Sweetlips, painted[3]	1100	175	13	292	308
Tailor, with skin	5500	286	125	1293	1528
Tarwhine, with skin	4100	262	42	1315	1493
Thetis fish[2]	630	46	du	258	259
Trevally, with skin	8200	303	54	1797	1929
Trevally[3]	1800	294	5	629	634
Trevally, onion[3]	700	60	4	261	280
Trevally, yellow-striped[3]	1300	93	11	469	486
Trout, rainbow (cultivated)	2800	533	29	507	547
Trout, rainbow (wild)	2000	197	142	469	631
Tuna, southern bluefin, with skin	3900	202	tr	1037	1140
Whiptail, northwest[3]	1000	159	11	312	326
Whiting[3]	500	45	3	132	136
Whiting, King George, with skin	2100	212	14	493	563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) ปริมาณของกรดไขมันทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัมของส่วนที่กินได้), ปริมาณโอเมกา-6ทั้งหมด, กรดลิโนเลอิก, กรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3ทั้งหมดที่พบในปลาสด [36]

ปลาสด (มิลลิกรัม/100กรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-6ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)	18:3 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	20:5,22:5, 22:6 n-3 (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณn-3ทั้งหมด (มิลลิกรัม/100กรัม)
Whiting, sand[3]	1000	128	7	132	140
Whiting, school	1100	114	4	299	307
Whiting, yellow skin[3]	1000	172	4	247	251

ที่มา : ได้รับและปรับปรุงข้อมูลจาก Sinclair และ คณะ (1992) นอกจากนี้ยังได้รับข้อมูลจาก

[1]Cashel และคณะ (1990a)

[2]Dunstan และคณะ (1988)

[3]Brown และคณะ (1989)

tr – มีปริมาณน้อยมาก du - ยังไม่มีข้อมูล

ชื่อของปลาได้จากแหล่งอ้างอิงดั้งเดิมไม่ได้ตรวจสอบกับชื่อทางการค้าของปลาและอาหารทะเลในออสเตรเลีย (1995)

ปลาทะเลที่อยู่ในประเทศอบอุ่นและหนาว จะมีปริมาณไขมันสะสมอยู่ในตัวสูง [13] โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวพวก EPA และ DHA ซึ่งยังคงสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ มีผลทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของปลาคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ในน้ำแข็ง [14,49]

แหล่งอาหาร มีผลค่อนข้างมากต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ EPA และ DHA พวกสัตว์ทะเลที่อาศัยอยู่ในแหล่งที่มีแพลงตอนพืช (phytoplankton) และสาหร่ายบางชนิด (algae) ซึ่งเป็นแหล่งของ n-3 fatty acid ในลูกโซ่อาหาร สัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นก็จะมีปริมาณ EPA และ DHA เก็บสะสมไว้ในตัวสูง [14,21] และพบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยกากถั่วเหลือง (soy bean meal) จะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด 18:2, n-6 อยู่มาก และมีกรดไขมันอิ่มตัวชนิดอื่นน้อย [14]

สายพันธุ์ เพศ และอายุ ก็มีผลต่อปริมาณกรดไขมัน พบว่า ปลาตัวเมียมีปริมาณไขมันสะสมอยู่ในตัวมากกว่าปลาตัวผู้เล็กน้อย [34] นอกจากนี้ยังพบว่า ปลาที่มีอายุน้อยจะมีปริมาณ EPA และ DHA ต่ำกว่าปลาที่มีอายุมาก [38]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนต่างๆของร่างกายจะมีปริมาณกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 อยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะพบกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 โดยเฉพาะ EPA และ DHA ในบริเวณกล้ามเนื้อสีดำ อวัยวะภายใน ส่วนหัว และเบ้าตา [13,30]

ในปีค.ศ. 1989 Karahadian,C. และคณะ [33] ได้ทำการหาปริมาณ EPA และ DHA ในปลาน้ำจืดพบว่า ในปลาน้ำจืดบางชนิดมี EPA และ DHA ประกอบอยู่ด้วยแต่เป็นปริมาณที่เล็กน้อยได้แก่ *Salvelinus* sp. ประกอบด้วย EPA 4 เปอร์เซ็นต์ และ DHA 5.9-9.6 เปอร์เซ็นต์ Alewife (*Alosa pseudoharengus*) มี EPA 8.6 เปอร์เซ็นต์ และ DHA 8.6 เปอร์เซ็นต์ *Coregonus clupeaformis* (white fish) จากทะเลสาบมิชิแกน มี EPA 7.8 เปอร์เซ็นต์ และ DHA 2.9 เปอร์เซ็นต์

Andread และคณะ [23] ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับกรดไขมันในกลุ่ม n-3 ในตัวอย่างปลาน้ำจืด 17 ชนิดใน southern Brazil โดยวิเคราะห์กรดไขมันในรูปเมทิลเอสเทอร์ ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟฟี พบว่า กรดไขมันอิ่มตัวซึ่งพบมากที่สุดคือ กรดปาลมิติค (C16:0) มี 50-70 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่อิ่มตัวทั้งหมด พบกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะคือ กรดโอเลอิค (C18:1, โอเมกา-9) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว PUFA คือ กรดลิโนเลอิค (C18:2, โอเมกา-6) กรดลิโนเลนิค (C18:3, โอเมกา-3) และ DHA (C22:6, โอเมกา-3) พบว่า ปลาน้ำจืดในสปีชีส์ truta, barbado และ corniva เป็นแหล่งที่ดีของ EPA และ DHA โดยในสปีชีส์ truta มี DHA 11.74±0.13 เปอร์เซ็นต์ EPA 1.67±0.01 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วน โอเมกา-3/โอเมกา-6 PUFA เท่ากับ 26.31±0.49 ในสปีชีส์ barbado มี DHA 3.70±0.02 เปอร์เซ็นต์ EPA 1.55±0.03 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วน โอเมกา-3 / โอเมกา-6 PUFA เท่ากับ 3.71±0.12 ในสปีชีส์ corvina มี DHA 10.34 ±0.25 เปอร์เซ็นต์ EPA 11.67±0.13 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วน โอเมกา-3 / โอเมกา-6 PUFA เท่ากับ 4.19±0.06 โดยปลาน้ำจืดที่มาทำการวิเคราะห์พบว่า เหมาะที่จะเป็นแหล่งของโอเมกา-3 เพื่อการบริโภคของประชากรในประเทศบราซิล ปกติแล้ว ลิปิดในปลาประกอบด้วย PUFA ซึ่งเป็นสารที่สำคัญสำหรับทารก เนื่องจาก DHA มีความสำคัญในการพัฒนาสมองในเด็กทารก [50]

ประสาร สวัสดิ์ชิตัง [9] ได้ทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดไขมันโดยใช้ gas lchromatography ของปลาน้ำจืด 31 ชนิดที่ซื้อมาจากตลาด 4 แห่งในกรุงเทพฯ และอีก 1 แห่งในจังหวัดปทุมธานี ระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤศจิกายน 2528 และปลาน้ำเค็ม 33 ชนิด ซึ่งซื้อและได้มาจากองค์การสะพานปลา กรุงเทพฯ ระหว่างเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2529 ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปลาน้ำจืด 31 ชนิด โดยทั่วๆไปพบว่า ปลาที่มีขนาดใหญ่จะมีไขมันสูงทั้งในส่วนของเนื้อและเครื่องใน เปอร์เซ็นต์ของผลรวมของกรดไขมันอิ่มตัว และผลรวมของกรดไขมันกลุ่ม n-9 ในเนื้อปลามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไขมันของเนื้อปลา ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันตัวอื่นๆทั้งหมดในเนื้อปลามีแนวโน้มที่จะแปรผกผันกับปริมาณไขมันของเนื้อปลา แต่มีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง arachidonic acid, docosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid และผลรวมของกรดไขมันกลุ่ม n-3 ในเนื้อปลากับปริมาณไขมันของเนื้อปลา ในส่วนของเนื้อปลา พบว่า ปลาน้ำจืด 6 ชนิด (อย่างน้อย 1 ตัวในแต่ละชนิด) มี linoleic acid มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ 4 ชนิดมี arachidonic acid มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (อย่างน้อย 1 ตัวในแต่ละชนิด) มีเพียง 1 ชนิดที่มี α-linolenic acid มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ปลาส่วนใหญ่ประกอบด้วย eicosapentaenoic acid และ docosapentaenoic acid ในปริมาณที่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ แทบจะไม่มีที่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด มีปลา 10 ชนิดที่มี docosahexaenoic acid มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และ 11 ชนิดที่มีกรดไขมันกลุ่ม n-3 มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าในปลาแต่ละชนิดมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันแต่ละตัว หรือผลรวมของกรดไขมันจำเป็นในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันไปบ้าง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปลากับปริมาณของกรดไขมันจำเป็นแต่ละตัว และกลุ่มของกรดไขมันจำเป็นในเนื้อปลาซึ่งแสดงต่อ 100 กรัมเนื้อปลาและต่อ 100 กรัมปลา พบว่าขนาดของปลามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของ linoleic acid ในเนื้อปลาเมื่อคิดต่อ 100 กรัมเนื้อปลาหรือเมื่อคิดต่อ 100 กรัมปลา [9]

ในปลาน้ำเค็ม 33 ชนิดนั้น พบว่า มีปริมาณไขมันในเนื้อปลาที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของปลา แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เปอร์เซ็นต์ของผลรวมของกรดไขมันอิ่มตัว และผลรวมของกรดไขมันกลุ่ม n-9 ในเนื้อปลานั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไขมันของเนื้อปลา ในขณะที่เปอร์เซ็นต์กรดไขมันของ linoleic acid, arachidonic acid, ผลรวมของกรดไขมันในกลุ่ม n-6, docosahexaenoic acid และผลรวมของกรดไขมันในกลุ่ม n-3 ในเนื้อปลาแปรผกผันกับปริมาณไขมันของเนื้อปลา มีเพียง docosapentaenoic acid เท่านั้นที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณไขมันของเนื้อปลา ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง α-linolenic acid หรือ eicosapentaenoic acid ในเนื้อปลากับปริมาณไขมันของเนื้อปลา [9]

ปลาน้ำเค็มส่วนใหญ่ประกอบด้วย linoleic acid และ α-linolenic acid ในส่วนของเนื้อจะน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์ของ eicosapentaenoic acid เพียงเล็กน้อย กรดไขมันตัวอื่นๆของกลุ่ม n-6 และ n-3 ในส่วนของเนื้อมีปริมาณเป็นหลายเท่าของ linoleic acid และ α-linolenic acid ตามลำดับ ปลาน้ำเค็มทุกชนิดมีเปอร์เซ็นต์ของ docosapentaenoic acid เพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อย แต่ปลาน้ำเค็มส่วนใหญ่จะมีเปอร์เซ็นต์ของ docosahexaenoic acid สูงมากในส่วนเนื้อ คุณลักษณะที่สำคัญของปลาน้ำเค็มคือมีกรดไขมันกลุ่ม n-3 ในปริมาณที่สูงมากถึง 47 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างขนาดของปลากับปริมาณของกรดไขมัน eicosapentaenoic acid ต่อ 100 กรัมเนื้อปลาหรือปลา กับปริมาณของ docosapentaenoic acid ต่อ 100 กรัมเนื้อปลาหรือปลา กับปริมาณผลรวมของกรดไขมันกลุ่ม n-6 ต่อ 100 กรัมเนื้อปลาตารางที่ 2-4และ2-5 แสดงปริมาณของกรดไขมันในปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็ม ตามลำดับ [9]

ตารางที่ 2-4 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมดและกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3, โอเมกา-6 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่พบในปลาน้ำจืด [9]

ปลาน้ำจืด ชื่อสามัญ	น้ำมันดิบ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กรดไขมัน(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						ปริมาณทั้งหมดของ		
		18:1 n-9	18:2 n-6	18:3 n-3	20:5 n-3	22:5 n-3	22:6, n-3	SFA	n-6	n-3
Common carp (ไน)	4.14	48.33	6.84	0.85	0.33	0.29	1.14	27.48	9.79	2.61
Striped catfish	9.25	35.95	14.53	0.54	0.98	0.46	1.29	34.70	16.77	3.27
(สวาย)	7.09	34.62	5.29	0.11	0.37	0.41	1.51	51.10	7.15	2.40
Spotted spiny eel	1.42	18.20	2.09	0.20	0.23	1.89	1.88	36.38	13.46	4.20
(หลดจุด)	3.27	18.95	1.50	0.18	0.12	0.44	0.90	37.32	8.68	1.64
Silver rasbora (ซิวหางไหม้)	5.68	35.87	10.05	1.04	0.38	0.18	1.60	41.97	12.70	3.20
Soldier river barb	4.42	21.78	2.78	0.19	0.89	0.50	1.79	52.31	8.35	3.37
(ตะโกก)	3.58	27.50	2.24	0.20	0.51	0.60	1.73	47.09	8.80	3.04
Thai carp	14.43	28.32	16.41	4.22	0.24	0.20	0.61	43.76	18.42	5.27
(ตะเพียนขาว)	6.40	57.20	8.52	0.10	0.14	0.12	0.96	28.11	10.09	1.32
Armed spiny eel	2.67	36.29	4.63	0.33	0.17	1.44	1.23	38.42	10.28	3.17
(กระทิง)	1.36	26.09	9.23	0.49	0.18	2.04	1.84	38.12	18.03	4.55
Siamensis pangasius	1.56	34.60	2.67	2.03	0.20	0.44	1.44	47.45	6.82	4.11
(สังกะวาดเหลือง)										
River sole	1.82	14.96	5.77	0.22	0.86	2.00	1.09	47.48	15.47	4.17
(ลิ้นหมาน้ำจืด)	1.22	10.72	5.86	0.20	1.05	2.68	1.34	48.13	17.14	5.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-4 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (SFA) และกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3,โอเมกา-6 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)ที่พบในปลาน้ำจืด [9]

ปลาน้ำจืด	น้ำมันดิบ	กรดไขมัน(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						ปริมาณทั้งหมดของ		
ชื่อสามัญ	(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	18:1 n-9	18:2 n-6	18:3 n-3	20:5 n-3	22:5 n-3	22:6, n-3	SFA	n-6	n-3
Black shark	1.32	22.14	5.30	0.55	1.66	1.64	2.21	37.00	16.50	6.06
(กาดำ)	1.51	16.25	5.80	0.58	1.14	1.41	2.79	40.33	17.08	5.92
Smith barb	3.52	25.80	4.98	2.60	1.23	0.72	1.45	44.63	11.99	6.00
(กระมัง)										
Catfish	2.28	16.52	2.91	0.11	1.71	1.45	6.40	43.27	11.07	9.67
(สายยู)	3.94	23.02	3.43	0.15	1.03	0.70	0.85	58.43	7.37	2.73
Swamp eel	0.48	13.70	3.90	0.13	0.61	2.47	6.91	27.18	29.01	10.12
(ไหล)	2.40	26.31	9.54	0.79	0.55	0.99	2.03	37.46	15.44	4.36
	0.93	30.25	5.69	1.25	0.43	1.12	5.07	35.32	16.79	7.87
Walking catfish	9.16	29.65	11.67	0.72	1.62	0.85	8.00	38.65	14.61	11.19
(ดุกด้าน)	10.65	33.91	13.30	0.26	0.77	0.50	3.11	39.26	15.06	4.64
Freshwater tongue fish	2.00	17.46	6.01	0.27	0.61	2.70	4.93	39.55	15.63	8.51
(ยอดม่วงน้ำจืด)	4.02	15.45	8.86	0.14	0.67	3.13	4.36	40.46	16.78	8.30
Catfish	0.66	22.16	5.52	0.27	1.07	1.90	11.80	35.89	18.62	15.04
(กดเหลือง)	2.52	35.22	7.47	0.14	0.26	0.97	3.27	37.75	12.98	4.64
Striped snake head fish	2.61	37.71	13.19	0.63	0.75	1.67	7.13	29.80	17.40	10.18
(ช่อน)	1.69	22.61	7.47	3.16**	0.73	1.86	3.83	38.29	17.20	9.58
Silver carp	4.92	20.33	4.97	0.94	4.22	1.11	3.54	37.65	11.33	9.81
(ติ่งฮื่อ)	4.83	11.81	5.24	0.57	4.88	1.25	3.65	43.12	13.31	10.35
Feather back knife fish	1.28	15.73	4.19	0.14	1.52	1.84	5.82	40.10	18.04	9.32
(สลาด)	7.76	18.17	3.67	0.57	2.52	1.72	6.92	47.87	9.29	11.73
Common climbing perch		7.40	27.38	5.87	0.22	1.24	2.84	12.90	37.18	9.19
17.20										
(หมอไทย)	8.10	30.95	12.55	0.18	0.50	1.18	2.64	41.11	15.52	4.50
Iridescent mystus	2.27	24.83	5.97	1.02	1.34	1.49	6.24	39.47	14.43	10.09
(แขยงข้างลาย)	1.10	19.49	5.54	0.64	1.56	1.86	8.49	40.41	16.57	12.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-4 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (SFA) และกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3,โอเมกา-6 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)ที่พบในปลาน้ำจืด [9]

ปลาน้ำจืด	น้ำมันดิบ	กรดไขมัน(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						ปริมาณทั้งหมดของ		
ชื่อสามัญ	(เปอร์เซ็นต์	18:1	18:2	18:3	20:5	22:5	22:6,	SFA	n-6	n-3
	โดยน้ำหนัก)	n-9	n-6	n-3	n-3	n-3	n-3			
Bighead carp	2.18	13.14	5.01	0.91	6.82	1.25	6.61	36.22	15.56	15.59
(ซ่งฮื้อ)	4.74	14.31	4.90	0.68	3.91	1.30	3.65	41.63	12.88	9.54
Jullien's golden-	1.72	10.73	4.80	2.32	1.62	5.72	37.82	12.62	6.15**	15.81
price carp(ยี่สก)	1.77	16.85	6.77	0.53	3.89	2.06	3.94	38.16	12.91	10.42
Siamese glass fish	0.96	16.63	5.09	0.44	2.43	2.30	8.24	34.81	24.33	13.41
(กระจก)	0.87	16.46	3.87	0.35	2.41	2.68	34.46	23.17	10.45	15.89
Sheat fish	1.21	19.53	2.63	0.23	3.00	2.59	41.40	12.24	9.32	15.14
(เนื้ออ่อน)										
Snake skin gourami	0.57	10.76	6.88	2.42**	1.98	3.39	36.05	27.65	7.43	15.22
(สลิด)										
Clown knife fish	0.53	12.46	1.06	0.85	1.94	3.66	33.85	16.84	19.90	26.35
(กราย)	1.33	22.71	10.24	0.16	0.58	1.14	37.16	20.99	7.19	9.34

** หมายเหตุ 20:0 + 18:3 , n-3

ตารางที่ 2-5 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (SFA) และกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3,โอเมกา-6 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)ที่พบในปลาทะเล [9]

ปลาทะเล	น้ำมันดิบ	กรดไขมัน(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						ปริมาณทั้งหมดของ		
ชื่อสามัญ	(เปอร์เซ็นต์	18:1	18:2	18:3	20:5	22:5	22:6,	SFA	n-6	n-3
	โดยน้ำหนัก)	n-9	n-6	n-3	n-3	n-3	n-3			
Banded scad	5.73	17.64	1.72	0.86	1.16	1.63	2.94	45.39	13.92	6.59
(สีกุนกระโดงดำ)	15.00	19.48	1.32	0.74	0.92	2.64	5.11	43.33	12.78	9.41
Long tooth salmon	4.78	12.97	0.56	0.27	2.60	1.51	5.58	47.23	6.08	9.96
(จวดเขี้ยว)	4.44	13.43	0.82	0.24	2.81	1.00	6.84	48.66	7.21	10.89
Black banded jack	4.04	33.68	0.76	0.24	0.64	0.23	5.36	47.42	3.18	6.47
(ล้าลี)	2.13	23.84	0.72	0.35	1.63	0.92	13.92	45.55	4.73	16.82
White pomfret	1.80	18.16	0.76	1.38	2.48	1.52	9.63	47.71	6.94	15.01
(จาระเม็ดขาว)	1.86	12.51	1.05	1.63	3.95	2.76	14.41	43.02	7.71	22.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-5 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (SFA) และกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3,โอเมกา-6 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)ที่พบในปลาทะเล [9]

ปลาทะเล	น้ำมันดิบ	กรดไขมัน(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						ปริมาณทั้งหมดของ		
ชื่อสามัญ	(เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก)	18:1 n-9	18:2 n-6	18:3 n-3	20:5 n-3	22:5 n-3	22:6, n-3	SFA	n-6	n-3
(น้ำดอกไม้)	13.42	23.71	0.72	0.48	2.88	1.24	13.22	42.97	5.52	17.82
Six banded rock cod	0.70	12.80	0.89	0.19	4.56	2.81	18.66	31.10	14.70	26.22
(เก๋าห้าแถบ)	1.00	17.19	0.75	0.54	2.92	2.89	10.82	40.56	9.98	17.17
Spotted sier		4.58	16.11	1.08	0.72	3.18	1.25	15.64	47.28	5.65
20.79										
(อินทรีย์จุด)	7.95	17.16	1.07	0.65	3.92	1.51	18.94	41.34	5.33	25.02
Yellow tailed caesio	1.58	10.97	1.93	0.66	3.04	1.25	18.91	42.32	10.31	23.86
(หางเหลือง)	1.74	11.55	1.50	0.66	2.95	1.33	17.40	43.22	11.06	22.34
Short bodied mackerel	4.41	5.33	1.76	2.28	11.51	2.23	7.29	38.86	9.06	23.31
(ทู)	8.23	6.45	1.58	2.28	11.97	2.07	6.77	38.40	8.20	23.09
Ornate thread fin bream	0.73	10.28	3.54	0.58	4.08	3.15	15.91	30.04	26.21	23.72
(ทรายแดง)										
Large scale tongue	1.28	9.06	1.42	0.91	4.90	4.39	13.11	35.44	15.38	23.31
Sole(ลิ้นหมา)	0.67	8.16	1.24	0.46	2.54	4.64	18.18	27.07	22.37	25.82
Indian mackerel	6.23	7.11	2.04	1.26	7.76	1.62	14.18	41.56	9.50	24.82
(จิง)	4.63	8.53	2.25	1.29	7.24	1.54	14.60	39.42	10.10	24.67
Great barracuda	0.51	7.16	1.03	0.33	4.75	3.29	22.54	29.16	14.77	30.91
(น้ำดอกไม้)	3.91	23.51	0.76	0.57	3.13	1.40	14.07	40.27	7.42	19.17
Giant sea perch	2.90	15.22	1.14	0.31	3.98	3.00	20.41	38.08	7.23	27.70
(กะพงขาว)	3.54	19.13	1.02	0.28	3.42	2.91	17.03	40.26	6.50	23.64
Trigger fish	0.66	9.10	1.47	0.57	1.42	1.55	15.49	29.80	30.56	19.03
(ง้วหางตัด)	0.56	8.14	1.74	0.59	4.92	1.99	25.61	30.11	18.90	33.11
Giant mackerel	3.81	15.47	1.25	0.99	3.27	1.29	21.27	39.91	7.56	26.82
(อินทรีย์บั้ง)	3.55	14.56	1.47	1.42	3.34	1.16	19.74	41.59	7.93	25.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-5 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (SFA) และกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3,โอเมกา-6 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)ที่พบในปลาทะเล [9]

ปลาทะเล	น้ำมันดิบ	กรดไขมัน(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						ปริมาณทั้งหมดของ		
ชื่อสามัญ	(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	18:1 n-9	18:2 n-6	18:3 n-3	20:5 n-3	22:5 n-3	22:6, n-3	SFA	n-6	n-3
Indian halibut	1.00	8.89	0.81	0.43	3.20	2.08	24.21	35.30	13.82	29.92
(ซีกเดียว)	0.50	9.12	1.23	0.46	2.22	1.35	21.32	37.50	14.05	25.35
Black kingfish	0.47	13.16	1.64	0.83	3.15	1.39	26.41	32.60	13.46	31.78
(ช่อนทะเล)	1.70	16.28	1.45	0.55	3.47	1.74	20.31	38.17	8.68	26.07
Leather jacket	0.69	7.92	1.08	0.52	5.14	1.92	15.52	40.31	20.38	23.10
(กวาง)	0.68	11.56	1.00	0.49	6.14	2.59	26.07	26.19	20.47	35.29
Convex-lined theraponid	0.80	12.01	1.88	0.70	3.54	2.73	24.26	33.24	14.66	31.23
(ข้างตะเภาลายโค้ง)	1.00	13.04	1.89	0.72	3.70	3.12	21.29	34.88	13.61	28.83
Bleeker's thread fin-	1.60	8.46	1.27	0.53	3.12	2.54	24.05	37.58	10.93	30.24
Bream(ทรายแดง)	1.46	10.63	1.17	0.59	3.31	3.04	23.81	36.84	11.57	30.75
Malabar red snapper	0.88	11.19	1.21	0.42	5.85	2.19	23.00	33.94	13.28	31.46
(กะพงแดง)	0.81	12.29	1.39	0.36	4.07	1.75	24.60	34.28	14.54	30.78
Bullseye	0.83	11.64	1.79	0.60	3.77	1.79	28.11	29.24	16.89	34.27
(ตาหวาน)	0.81	12.30	1.58	0.39	4.75	1.71	23.90	33.27	14.98	30.75
Big eye scad	1.98	10.17	1.81	1.17	4.41	2.44	26.01	36.85	10.20	34.03
(สีกุนตาโต)	1.44	12.20	1.38	0.80	3.73	2.18	24.87	37.49	11.26	31.58
Rosy thread fin bream	1.17	10.26	1.87	1.01	2.30	3.07	28.30	32.85	14.33	34.68
(ทรายแดง)										
Round scad	1.95	9.37	1.94	0.42	5.89	2.58	28.93	35.96	9.16	37.82
(ทูแขก)	4.28	12.81	1.45	0.15	6.55	2.73	22.21	38.92	6.88	31.64
Sardinella	1.46	6.17	1.95	0.28	6.29	0.93	29.65	38.86	8.90	37.15
(หลังเขียว)	1.92	6.66	1.93	0.37	7.20	1.13	26.47	39.76	8.38	35.17

หมายเหตุ แสดงผลเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อปลาสด (raw meat) เท่านั้น ไม่รวมเครื่องใน (viscera) และชั้นไขมัน (adipose tissue)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อริชัย ก่อกิจ [18] ได้ทำการศึกษาปริมาณ DHA และ EPA ในสัตว์ทะเลบางชนิดในประเทศไทย โดยจากการศึกษากลุ่มหอย 22 ชนิด กุ้งทะเล 3 ชนิด และปลา 3 ชนิด พบว่า หอยเชลล์ (*Amusium pleuronectes*) มี DHA สูงถึง 22.4 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่สกัดได้ และมีไขมัน 45.8 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง ส่วนหอยลาย (*Paphia undulata*) และหอยตลับลาย (*Meretrix lusoria*) มี EPA สูง 19.4 และ 11.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ หอยมุก (*Pinctada* sp.) มีปริมาณ DHA และ EPA ค่อนข้างต่ำ แต่จะมีปริมาณน้ำมันสูงถึง 86.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าสิ่งมีชีวิตใดๆที่มีการรายงานมา กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*) มี DHA และ EPA สูงคือ 10.9 และ 11.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) ซึ่งเป็นกุ้งเลี้ยงก็มีปริมาณ DHA ค่อนข้างสูง คือ 12.8 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้การสำรวจนี้จะพบ DHA และ EPA ในสัตว์ทะเลทุกชนิด แต่ข้อมูลการสำรวจยังไม่มากพอจะโยงความสัมพันธ์ถึงแหล่งของ DHA และ EPA ได้ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การศึกษาปริมาณ DHA และ EPA ในสัตว์ทะเลบางชนิดในไทย [18]

ชนิดของตัวอย่าง	EPA (เปอร์เซ็นต์)	DHA (เปอร์เซ็นต์)	อื่นๆ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณลิปิด (กรัม/100 กรัม)
หอยแครงใต้ (*Arca granulosa*)	9.0	9.4	81.6	15.8
หอยแครงตะวันออก (*A. granulosa*)	5.1	9.3	85.6	0.5
หอยตลับ (*Meretrix* sp.)	11.1	11.2	77.7	48.4
หอยหลอด	7.1	13.0	79.9	23.9
หอยหวาน	2.9	2.8	94.3	15.9
หอยเชลล์ (*Amusium pleuronectes*)	6.9	22.4	70.7	45.9
หอยลาย (*Paphia undulata*)	19.4	5.0	75.6	48.4
หอยนางรม (*Crassostrea gigas*)	8.7	9.3	82.0	55.4
หอยเสียบ (*Donax faba*)	8.7	3.4	87.9	20.9
หอยกะพง (*Musculus senhousia*)	6.1	13.9	80.0	9.0
หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*)	6.2	11.5	82.3	27.7
หอยสังข์ปะการัง (*Fusinus tuberculatus*)	2.1	3.3	94.6	19.0
หอยสังข์หนาม (*Murex pecten*)	4.2	7.0	88.8	23.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-6 การศึกษาปริมาณ DHA และ EPA ในสัตว์ทะเลบางชนิดในไทย [18]

ชนิดของตัวอย่าง	EPA (เปอร์เซ็นต์)	DHA (เปอร์เซ็นต์)	อื่นๆ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณลิปิด (กรัม/100 กรัม)
หอยมวนพลู (*Turritella terebra*)*[1]	3.5	6.1	90.4	11.6
หอยสังข์ทะนาน (*Melo melo*)	5.4	6.7	87.9	70.4
หอยสังข์กบ (*Bursa rana*)	1.5	13.2	84.3	29.8
หอยสังข์จุกพราหมณ์ (*Cymbiola nobilis*)	15.0	17.7	67.3	19.0
หอยตะกาย (*Natica maculosa*)	2.0	16.0	82.0	40.0
หอยกระต่ายตาว (*Phalium bisulcatum*)	2.2	8.8	89.0	55.5
หอยมุกจาน (*Pinctada* sp.)*[1]	0.6	10.2	89.2	86.1
หมึกกล้วย (*Loligo formosana*)	9.4	27.1	63.5	52.6
กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*)	11.5	10.9	77.6	40.3
กุ้งกุลาดำ (*P. monodon*)*[2]	5.6	12.7	81.7	51.1
กั้งตั๊กแตนตำข้าว (*Herpiosquilla* sp.)	9.8	9.7	80.5	44.8
หอยเชอรี่ *[2]	ND.*[3]	ND.	100.0	3.4
หอยขม (*Sinotaia ingallsiana*)*[4]	2.0	ND.	98.0	6.6
ปลาลิ้นหมา (*Cyanoglossus elongatus*)	10.3	2.8	80.0	16.4
ปลากระบอก (*Mugil dussmieri*)	0.9	9.5	78.4	3.3
ปลาตาหวาน (*Priacanthus tayenus*)	5.0	1.7	77.4	3.7

หมายเหตุ *1 มี 1 ตัวอย่าง, *2 กุ้งเลี้ยง, *3 ไม่มีข้อมูล, *4 หอยน้ำจืด

ครรชิต จุดประสงค์ [3] ได้ศึกษาปริมาณของกรดไขมันในปลาที่นิยมบริโภคคือ ปลาน้ำจืด 8 ชนิดได้แก่ ปลาไหล ปลากราย ปลานิล ปลาสลิด ปลาตะเพียน ปลาช่อน ปลาสวาย และปลาดุก และปลาน้ำเค็ม 9 ชนิดได้แก่ ปลากะพงแดง ปลากะพงขาว ปลาเก๋า ปลาทูสด ปลาทูนึ่ง ปลาอินทรี ปลาจะละเม็ดดำ ปลาจะละเม็ดขาว และปลาสำลี โดยทำการสุ่มตัวอย่างมาจากตลาด 4 แห่งซึ่งเป็นแหล่งจำหน่ายปลาในกรุงเทพฯ ปลาที่ได้นำมาทำการประกอบอาหารโดยวิธีที่นิยมในครัวเรือนได้แก่ การต้ม การนึ่ง การปิ้ง/ย่าง และการทอดตามแต่ชนิดของปลา จากการศึกษาพบว่าปลามีส่วนที่กินได้ 55-81 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภค (1/2 ถ้วยตวง) ของปลาสุกมีน้ำหนักเฉลี่ย 80 กรัม ปลาที่ศึกษาแบ่งตามปริมาณไขมันออกได้เป็น 4 ชนิดได้แก่ ปลาที่มีไขมันต่ำมาก (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 กรัมต่อ 100 กรัม) คือ ปลาไหล ปลากราย ปลานิล ปลากะพงแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปลาเก๋า ปลาที่มีไขมันต่ำ (มากกว่า 2-4 กรัมต่อ 100 กรัม) ได้แก่ ปลาทูนึ่ง ปลากะพงขาว จะละเม็ดดำ และปลาอินทรี ปลาที่มีไขมันปานกลาง (มากกว่า 4-8 กรัมต่อ 100 กรัม)คือ ปลาสลิด ปลาตะเพียน และปลาจะละเม็ดขาว และปลาที่มีไขมันสูง (มากกว่า 8-20 กรัมต่อ 100 กรัม) คือ ปลาช่อน ปลาสวาย ปลาดุก และปลาสำลี กรดไขมันไม่อิ่มตัวในปลาต้ม ปลานึ่ง และปลาย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-8.8 กรัมต่อ 100 กรัม ขึ้นกับปริมาณของไขมันในปลา ปลาทอดด้วยน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ระหว่าง 4.5-14.4 กรัมต่อ 100 กรัม และมีอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่า 2:1 พบว่า ปลาจะละเม็ดดำ ปลาจะละเม็ดขาว ปลาสวายนึ่ง และปลากะพงขาวต้ม มีกรดไขมันโอเมกา-3 สูงมาก รับประทานหนึ่งหน่วยบริโภค (1/2 ถ้วยตวง) จะให้กรดไขมันโอเมกา-3 ในระดับ 485-720 มิลลิกรัม คิดเป็น 80-120 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคในประเทศสหรัฐอเมริกา (600 มิลลิกรัมต่อวัน เมื่อได้รับพลังงาน 2,000 กิโลแคลอรี) ปลาสำลีนึ่ง ปลาช่อนนึ่งและต้ม ปลาตะเพียนต้ม ให้กรดไขมันโอเมกา-3ในระดับ 324-456 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค คิดเป็น 54-76 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน ปลากะพงแดงและปลาเก๋าที่ทำให้สุกโดยวิธีนึ่งและต้มมีกรดไขมันโอเมกา-3 ต่ำกว่าปลาชนิดอื่น (62-105 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค คิดเป็น10-18 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน) ปลาย่างมีกรดไขมันโอเมกา-3 อยู่ในระดับตั้งแต่ 400 (ปลาดุกและปลาสลิด) ถึง 1,082 (ปลาช่อน) มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค คิดเป็น 67-180 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน ปลาทอดด้วยน้ำมันพืชมีกรดไขมันโอเมกา-3 สูงสุดคือ 638-1,725 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค คิดเป็น 106-287 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน

ตารางที่ 2-7 ไขมัน (crude fat) และปริมาณของกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อ100กรัม) ในปลาน้ำจืดและปลาทะเลดิบ [3]

ชนิดปลา ชื่อสามัญ	น้ำมันดิบ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ SFA ทั้งหมด (กรัม)	ปริมาณกรดไขมัน(มิลลิกรัม/100กรัม)							ปริมาณ n-3 ทั้งหมด
			16:0	18:0	18:1, n-3	18:2, n-6	18:3, n-3	20:5, n-3	22:6, n-3	
Malabar red snapper (กะพงแดง)	0.5	146	82	44	57	1	0	14	84	99
Swamp eel (ไหล)	0.6	0.1	40	19	26	0	0	0	7	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-7 (ต่อ) ไขมัน (crude fat) และปริมาณของกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อ100กรัม) ในปลาน้ำจืดและปลาทะเลดิบ [3]

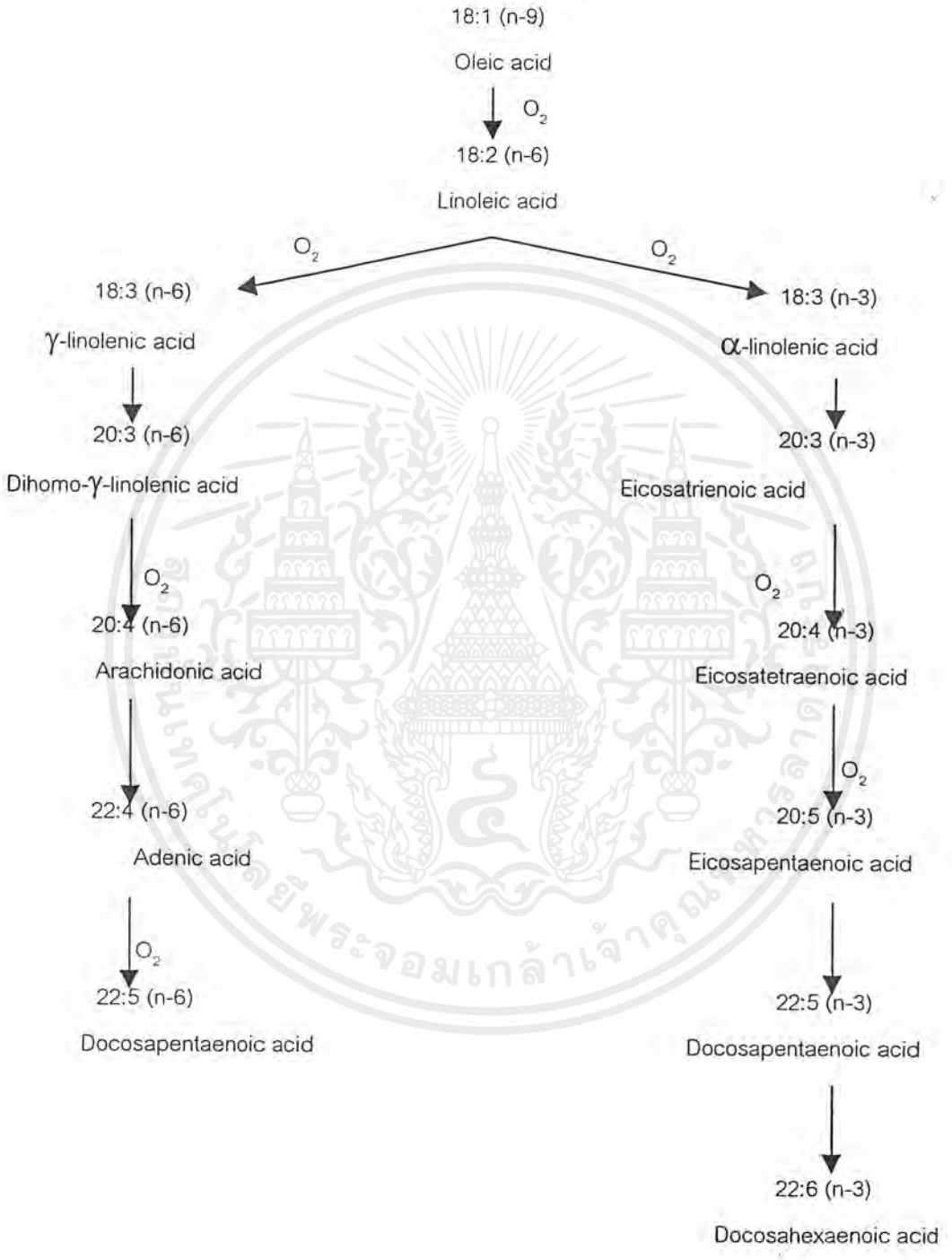
ชนิดปลา ชื่อสามัญ	น้ำมันดิบ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ SFA ทั้งหมด (กรัม)	ปริมาณกรดไขมัน(มิลลิกรัม/100กรัม)							ปริมาณ n-3 ทั้งหมด
			16:0	18:0	18:1, n-3	18:2, n-6	18:3, n-3	20:5, n-3	22:6, n-3	
Grouper (เก๋า)	0.6	0.1	40	19	26	0	0	2	33	82
Spotted featherback (กราย)	1.2	0.3	178	70	168	39	23	19	57	136
Nile tilapia (นิล)	1.8	0.5	323	91	306	104	48	16	43	118
Giant sea perch (กะพงขาว)	3.2	1.0	574	214	351	0	16	76	295	395
Spanish mackerel (อินทรี)	3.6	2.0	1111	472	663	0	19	85	212	329
Black pomfret (จะละเม็ดดำ)	3.6	0.9	484	257	226	0	8	32	67	159
Short bodied mackerel (ทู)	3.8	1.1	576	216	254	61	20	109	85	220
Snake skin gourami, sundried, salted (สลิด)	5.9	1.7	975	327	1151	194	144	76	115	356
White pomfret (จะละเม็ดขาว)	6.8	2.3	1175	453	898	30	69	193	578	840
Common silver barb (ตะเพียน)	7.4	2.3	1470	597	2052	1107	13	16	107	236
Striped snakehead fish (ช่อน)	8.5	1.7	1150	395	1557	766	5	63	332	440
Striped catfish (สวาย)	8.9	3.2	1890	727	2199	599	12	45	86	449
Black banded trevally (ลำลี)	9.2	2.9	1750	751	1853	0	7	116	325	467
Walking catfish (ดุก)	14.7	4.5	3027	1273	4293	1939	32	39	215	455

2.4.1.2 จุลินทรีย์

นอกจากปลาทะเลที่เป็นแหล่งของ EPA และ DHA แล้ว ยังมีความสนใจที่จะใช้จุลินทรีย์ [55] เป็นแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่สำคัญในอนาคต เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนได้ดังรูปที่ 3-4 เพื่อใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตกรดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของอาหาร การให้อากาศ ความเข้มแสง อุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งจะมีบทบาทมากต่อการสังเคราะห์ และการสะสมกรดไขมันในจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ [55]



รูปที่ 2-13 การสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวในจุลินทรีย์ [55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าการผลิตน้ำมันจากจุลินทรีย์จะยังไม่สามารถทดแทนน้ำมันจากพืชและสัตว์ได้ แต่สามารถใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำมันชนิดพิเศษได้ ทำให้มีความสนใจที่จะนำเอาเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้พัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันจากจุลินทรีย์เซลล์เดียว (SCO) เพื่อศึกษาวิถีทางการสังเคราะห์และการสะสมลิปิด ตลอดจนการเพิ่มจำนวนอะตอมของคาร์บอน (elongation) และการเกิดพันธะคู่ (desaturation) ของกรดไขมันที่สนใจ ซึ่งพบว่า จุลินทรีย์พวกที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และพวกที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส มีองค์ประกอบของไขมันแตกต่างกันโดยที่ [12]

2.4.1.2.1 จุลินทรีย์พวกที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (procaryotic microorganism)

ก. แบคทีเรีย (bacteria)

โดยปกติ แบคทีเรียจะไม่ผลิตกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน แต่แบคทีเรียบางชนิดจะมีการเติมพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันในสภาพที่ไร้อากาศ Yasawa และคณะ [54] ได้ศึกษาการผลิต EPA โดยใช้แบคทีเรียสายพันธุ์ SCRC-2738 ที่แยกได้จากลำไส้ใหญ่ของปลาแมคเคอเรลในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ *Shewanella putrefaciens* พบว่า สามารถผลิต EPA ได้ประมาณ 24-40 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (พีเอช 7.0 ที่ 20 องศาเซลเซียส และให้อากาศนาน 12-18 ชั่วโมง) ได้ปริมาณชีวมวล 15 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตรหรือ $2x10^{10}$ เซลล์มีชีวิตต่อมิลลิลิตร ซึ่งพบ EPA ในส่วนของฟอสโฟลิปิดที่ตำแหน่งที่ 2 ของฟอสฟาติดิลเอทาโนลามีนและฟอสฟาติดิลกลีเซอรอล

ข. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria)

พบว่า มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนอยู่บ้าง แต่โดยทั่วไปนั้นจะเป็นกรดไขมันชนิดที่มีคาร์บอน 18 อะตอมและ 3 พันธะคู่ ยังไม่พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีศักยภาพพอที่จะใช้เป็นแหล่งผลิต EPA และ DHA ได้ [12]

2.4.1.2.2 จุลินทรีย์พวกที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (eucaryotic microorganism)

ก. ยีสต์ (yeast)

พบว่ายีสต์หลายชนิดมีคุณสมบัติที่จะสามารถกรดไขมันได้ดี เช่น *Candida, Hensenulla,*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cryptococcus, Lipomyces และ *Rhodotorula* โดยบางชนิดให้ปริมาณของกรดไขมันสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งกรดไขมันหลักที่พบมีทั้งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบในยีสต์ส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนเพียง 18 อะตอม ถึงแม้ว่าจะมีบางสายพันธุ์ที่สามารถผลิตกรดไขมันที่มีคาร์บอน 20 อะตอมแต่มักจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัว [55]

ข. รา (fungi)

ชนิดกรดไขมันที่พบในราก็เหมือนกันกับกรดไขมันที่พบในจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆโดยประกอบด้วยอนุกรมเดียวกัน (homologous series) ของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นสายตรง (aliphatic acids) ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 24 อะตอม โดยปกติจะพบกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมเป็นส่วนใหญ่ โดยกรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่จะเป็นกรดปาลมิติค และกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่จะเป็นกรดโอเลอิคและกรดลิโนเลอิค ซึ่งองค์-ประกอบของกรดไขมันที่มีลักษณะแบบนี้จะพบเป็นรูปแบบที่แน่นอนในกลุ่มของรา [12]

Shimizu และคณะ [43] พบว่า มีเชื้อราในจีนัส *Mortierella* หลายสายพันธุ์ซึ่งจะสามารถผลิต EPA โดยสะสมอยู่ในเส้นใยเมื่อนำไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ซึ่งนับเป็นปรากฏการณ์ที่มีลักษณะพิเศษเนื่องจากมีการกระตุ้นให้เอนไซม์สร้าง EPA ที่อุณหภูมิต่ำ จากการทดลอง *Mortierella alpina* 1S-4 สามารถผลิต EPA ได้ 0.3 กรัมต่อลิตร (27 มิลลิกรัมต่อกรัมเส้นใยแห้ง) แสดงให้เห็นว่า เชื้อรานี้สามารถใช้เป็นแหล่งผลิต EPA ได้ นอกจากนี้ Shimizu และคณะ [43] ได้ทดลองเลี้ยง *M. alpina* 20-17 เพื่อผลิต EPA ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน และมีสารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) เป็นแหล่งไนโตรเจน โดยระยะแรกเลี้ยงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสจนได้เส้นใยเพิ่มมากขึ้น จึงลดอุณหภูมิลงเป็น 12 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า เชื้อราสามารถผลิต EPA ได้ 0.49 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (29 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง) โดยมี EPA 13.5 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด

Shimizu และคณะ [45] พบว่า *Mortierella* 20-17 สามารถเปลี่ยนกรดแอลฟา-ลิโนเลนิคให้เป็นกรดอะแรคคิโดนิค (ARA) และ EPAได้ เมื่อเลี้ยงที่อุณหภูมิ 6-16 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เชื้อราตัวนี้ไม่สามารถผลิต EPAได้ แต่เมื่อเติมกรดแอลฟาลิโนเลนิคนี้ลงไป เชื้อราสามารถเปลี่ยนกรดแอลฟาลิโนเลนิคให้เป็น EPA ได้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ทำให้สันนิษฐานได้ว่า กรดแอลฟาลิโนเลนิคนี้จำเป็นต่อการผลิต EPA ที่อุณหภูมินี้ จากการทดลองนั้น พบว่า น้ำมันลินสีด (linseed oil) เป็นน้ำมันที่มีกรดแอลฟาลิโนเลนิคสูงถึง 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเหมาะสมต่อการผลิต EPA โดยเชื้อรานี้สามารถผลิต EPA ได้ 1.35 กรัมต่อลิตร (41.5 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง) และมี EPA 7.1 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด

Shimizu และคณะ [46] ใช้เชื้อรา *Mortierella alpina* 1S-4 เปลี่ยนน้ำมันลินสีดให้เป็นน้ำมันที่มี EPA เมื่อเลี้ยงที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส โดยสันนิษฐานว่า มีการผลิต EPA จากกรดอะแรคคิโดนิค (ARA) ผ่านวิถีทางการสังเคราะห์จาก n-6 ที่อุณหภูมิต่ำ และจากวิถี n-3 ทำให้เชื้อรานี้มีการสะสม EPA ได้ถึง 1.88 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ หรือ 66.6 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง

Yamada และคณะ [53] เชื้อได้คัดเลือกจุลินทรีย์ต่าง ๆ พบว่า เส้นใยของเชื้อราสามารถใช้เป็นแหล่งผลิตกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีคาร์บอน 20 อะตอมได้ โดยเลี้ยงเชื้อรา *Mortierella alpina* 1S-4 ที่แยกได้จากดินในอาหารที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน เชื้อรานี้สามารถผลิต ARA ได้ 4.3 กรัมต่อลิตร หรือ 274 มิลลิกรัมต่อกรัมของเซลล์แห้ง ในสภาวะการเลี้ยงนี้จะให้กรดไขมัน 65 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด หากทำการเลี้ยงเชื้อรานี้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เชื้อรานี้จะเร่งการสร้างพันธะคู่ของ ARA ดังนั้น ที่อุณหภูมิต่ำจะมีการสะสม EPA ในเส้นใยสูงกว่า ARA เชื้อรานี้จะเปลี่ยนน้ำมันที่มีกรดแอลฟาลิโนเลนิค (α-linolenic acid; ALA) เช่น ลินสีด (linseed oil) และเพอริลลา (perilla oil) ให้เป็นน้ำมันที่มี EPA ซึ่งมีความเข้มข้นเพิ่มเป็น 1.88 กรัมต่อลิตร การเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เลี้ยง เมื่อเลี้ยงเชื้อรานี้ในน้ำมันงา (sesame oil) จะผลิต Dihomo-γ-linolenic acid (DGLA) 2.17 กรัมต่อลิตร (DGLA เกิดขึ้นพร้อมกับการลดลงของ ARA)

Shinmen และคณะ [48] ได้พบว่า เชื้อราตัวนี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ EPA และ DHA เมื่อเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตรที่มีน้ำมันปลาแซลมอนเป็นสับสเตรท โดยสามารถเพิ่มความเข้มข้นของ EPA จาก 14.0 เปอร์เซ็นต์เป็น 29.2 เปอร์เซ็นต์ และ DHA จาก 17.3 เปอร์เซ็นต์เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด โดย EPA และ DHA จะอยู่ในส่วนของโพลาร์ลิปิดและไตรกลีเซอไรด์ในเส้นใย ทำให้สามารถนำไปเป็นอาหารปลาและอาหารสัตว์อื่นๆ

O'Brien และคณะ [39] ได้สกัด EPA จากเส้นใยของเชื้อรา *Pythium irregulare* ด้วยตัวทำละลายที่มีส่วนผสมของเฮกเซนและไอโซโพรพานอลในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 3:2 (ปริมาตร /ปริมาตร) สามารถสกัดลิปิดได้ 96 เปอร์เซ็นต์ และได้ EPA สูงถึง 24 เปอร์เซ็นต์

ค. สาหร่าย (algae)

ถึงแม้ว่าปลาทะเลจะเป็นแหล่ง EPA และ DHA ที่สำคัญ แต่กรดไขมันเหล่านี้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดมาจากพืชทะเลที่มีเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ โดยเฉพาะสาหร่าย ซึ่งพบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบมีความเหมือนกันกับกรดไขมันที่พบในปลาทะเลและแพลงตอนพืชในบริเวณเดียวกัน แต่ในทางตรงกันข้าม มีสาหร่ายน้ำจืดเพียงบางสายพันธุ์ที่มี EPA และ DHA [12]

Akira และคณะ [42] พบว่า *Nannochloropsis oculata* ซึ่งเป็นสาหร่ายน้ำเค็มเซลล์เดียว นิยมใช้เป็นอาหารปลาในญี่ปุ่น โดยมีปริมาณไขมันและ EPA ในปริมาณที่สูง ปริมาณ EPA ในเนื้อเยื่อสามารถเพิ่มจาก 20 เปอร์เซ็นต์ เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของไขมันที่สกัดได้ ลิปิดที่ได้จาก *Nannochloropsis* เป็นพวกโพลาร์ลิปิด เช่น ฟอสโฟลิปิด และไกลโคลิปิด โดยที่ในส่วนของไกลโคลิปิดเป็นพวกโมโนและไดกาแลคโตซิลไดกลีเซอไรด์ มี EPA 70 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด แต่ไม่มี DHA ในองค์ประกอบของไขมัน เนื่องจาก *Nannochloropsis* เป็นอาหารที่สำคัญของแพลงตอนสัตว์ การใช้แพลงตอนสัตว์เป็นอาหารของปลา จะช่วยเพิ่มอัตราการรอดตายของลูกปลา และยังใช้เป็นอาหารที่ดีเยี่ยมของตัวอ่อนของพวก crustacean เช่น กุ้ง เป็นต้น

Kimberly และคณะ [25] พบว่า มีสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในกลุ่มโอเมกา-3 เช่น EPA และ DHA เมื่อทำการเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียว (MK8908) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จะผลิตกรดไขมันได้ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งประกอบด้วย กรดไมริสติค ปาลมิติค และโอเลอิค ในปริมาณที่เท่ากับปริมาณ EPA คือประมาณ 2-4 เปอร์เซ็นต์ การเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียวในถังหมักได้น้ำมันมากกว่าคือ 8 กรัมต่อลิตรต่อวัน ทำให้มีศักยภาพในการผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

Kyle และคณะ [25] พบว่า สาหร่ายเซลล์เดียว (8805) ซึ่งเลี้ยงในถังหมักภายใต้สภาวะที่เหมาะสมให้ผลผลิตประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ในไตรกลีเซอไรด์ที่สกัดได้มี DHA 35 เปอร์เซ็นต์ แต่น้ำมันที่สกัดได้ไม่เหมือนน้ำมันอื่นๆ คือ จะไม่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวชนิดอื่นนอกจาก DHA

Cohen และคณะ [26] พบว่า สาหร่ายสีแดง (red microalgae) *Porphyridium cruentum* สามารถใช้เป็นแหล่งผลิต EPA เนื่องจากมี EPA 44.1 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด เมื่อทำการแยกไกลโคลิปิด และทำการเพิ่มความเข้มข้นของ EPA และ ARA โดยการตกตะกอนด้วยยูเรีย และแยกด้วย reverse phase chromatography เป็นผลให้เพิ่มความเข้มข้นของ EPA ได้ 97 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มความเข้มข้นของ ARAได้ 80 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Cohen [27] พบว่าสาหร่ายเซลล์เดียว *Monodus subterraneus* สามารถผลิต EPA ซึ่งเป็นกรดไขมันหลักที่พบอยู่มากในส่วนของกาแลคโตลิปิด ในสภาวะที่ขาดไนโตรเจน ปริมาณกรดไขมันจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของ EPA จะลดลงเหลือ 19.5 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน และ 1.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ การเลี้ยงในสภาวะที่มีแสงน้อยหรือในสภาวะที่มีปริมาณเซลล์มาก จะเป็นตัวส่งเสริมทำให้สัดส่วนของ EPA สูงถึง 36.7 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน และได้ EPA 4.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ผลผลิตของ EPA สูงสุด 25.7 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน (ผลผลิตเซลล์สูงสุด) ดังนั้น *M. subterraneus* จึงน่าจะมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งผลิต EPA

Weete และคณะ [51] ได้คัดเลือก *Pythium ultimum* (สายพันธุ์ 144) เพื่อใช้ในการผลิต ARA และ EPA ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่า สามารถผลิต ARA ได้ 129 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 114 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อทำการเลี้ยงใน Vogel's medium ในสภาวะที่อัตราการเจริญเติบโตคงที่ และมีการควบคุมปริมาณกลูโคส และควบคุมอุณหภูมิต่ำ ถ้าเลี้ยงในสภาวะที่ไม่มีการกวน สาหร่ายสามารถผลิต ARA และ EPA เพิ่มเป็น 254 เปอร์เซ็นต์และ 236 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ [12]

ถึงแม้ว่าจะพบแหล่งของ EPA และ DHA จากหลายแหล่ง แต่ที่มีการทำเป็นการค้านั้นส่วนใหญ่จะได้จากน้ำมันปลา ซึ่งได้มีการศึกษาคุณประโยชน์ในด้านต่างๆจึงทำให้นิยมใช้น้ำมันปลาเป็นอาหารเสริมสุขภาพ

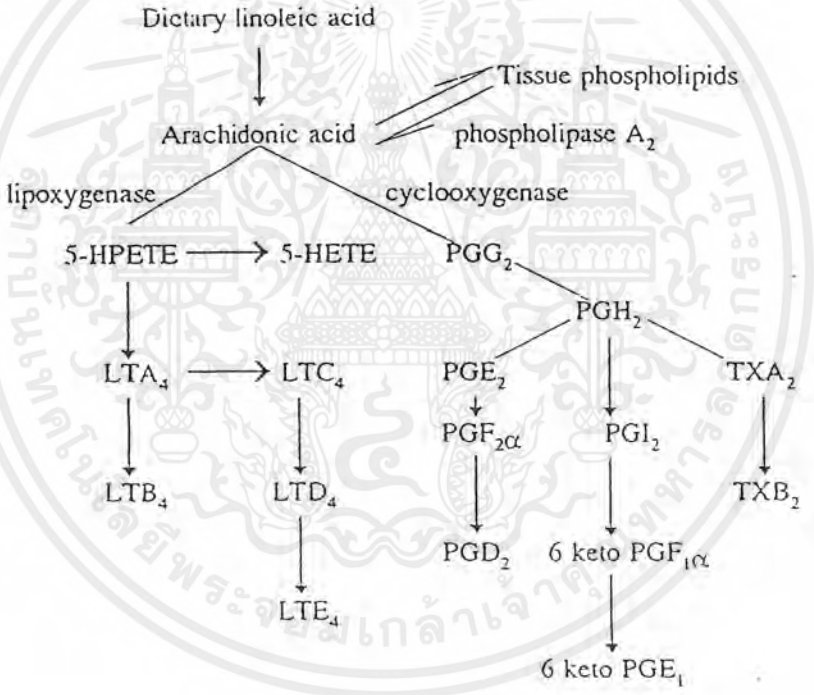
2.4.2 บทบาทของ EPA และ DHA กับการอุดตันของหลอดเลือด

2.4.2.1 ไขมันในเลือด

เมื่อได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสารไขมันในเลือดพบว่าขณะที่ระดับของคอเลสเตอรอล (choresterol)และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดต่ำลงนั้น ปริมาณกรดอะแรคคิโดนิคก็จะต่ำลงด้วย ในขณะเดียวกัน ปริมาณ EPA จะมีอยู่สูงมาก และในทางตรงกันข้าม ถ้าปริมาณของคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และกรดอะแรคคิโดนิคสูง พบว่าจะมีปริมาณ EPA ในเลือดต่ำ จากผลการศึกษาดังกล่าว จึงทำให้ทราบว่า EPA มีบทบาทสำคัญในการช่วยทำให้ระดับของคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง ต่อมาได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์อันนี้อย่างจริงจังจึงพบว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวพวก n-3 fatty acid โดยเฉพาะ EPA และ DHA นั้น มีส่วนสำคัญในการสร้างสารไอโคซานอยด์ (eicosanoids) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด เป็นกลุ่มสารที่คล้ายฮอร์โมน สร้างขึ้นโดยผ่าน วิถี cyclooxygenase และ วิถี lipoxygenase ได้เป็นสารชนิดต่างๆได้แก่ พรอสตาแกลนดิน (prostaglandin, PG), thromboxane (TX) และ leukotriene (LT) [1] ดังรูปที่ 2-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรับประทานอาหารพวกไขมันเข้าไป ไขมันจะถูกย่อยสลายเป็นสารไขมัน ซึ่งสารไขมันเหล่านี้จะสามารถไหลเวียนอยู่ในร่างกายได้โดยการปนไปในกระแสเลือด เนื่องจากสารไขมันมีความหนาแน่นต่ำ จึงมีลักษณะเบาลอยตัว ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถขนถ่ายในกระแสเลือดไปยังส่วนต่างๆของร่างกายได้ สารไขมันจึงรวมตัวกับโมเลกุลของโปรตีนด้วยแรงดึงดูดทางกายภาพ เกิดเป็นไลโปโปรตีน (lipoprotein) ขึ้น ดังนั้นการมีสารไขมันในเลือดสูงจึงหมายถึง การมีระดับของไลโปโปรตีนสูงด้วย [1]

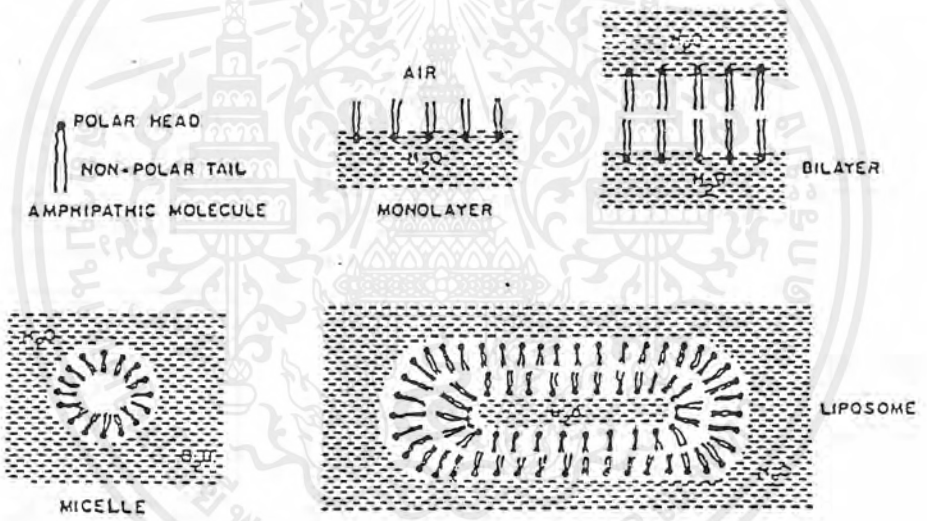


รูปที่ 2-14 แสดงวิถีเมตาบอลิซึมในการสร้างสารในกลุ่ม eicosanoids จากกรดอะแรคคิโดนิค โดยผ่านวิถีของเอนไซม์ cyclooxygenase (ตัวเลขที่ห้อยติดกับอักษรย่อของ eicosanoids แสดงจำนวนพันธะคู่ eicosanoids ที่สร้างจากEPA จะมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้นอีก 1 คู่) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารไขมันในไลโปโปรตีนในน้ำเลือดนั้น จะมีทั้งชนิดที่มีขั้ว (polar) ก็คือพวกฟอสโฟลิปิด (phospholipid) และชนิดที่เป็นกลางหรือไม่มีขั้ว (non polar) คือ ไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลทั้งในรูปอิสระและรูปเอสเทอร์ ซึ่งสารไขมันในเลือดที่ใช้บอกภาวะความมีระดับไขมันในเลือดสูงคือ ไตรกลีเซอไรด์ หรือคอเลสเตอรอล หรือทั้งสองชนิดสูงเกินค่าปกติในเลือด กล่าวคือ ไตรกลีเซอไรด์สูงกว่า 150 มิลลิกรัม/เดซิลิตร และคอเลสเตอรอลสูงกว่า 200 มิลลิกรัม/เดซิลิตร [14]

สารไขมันชนิดที่มีขั้วจะมีลักษณะโมเลกุลแบบแอมฟิฟาติก ส่วนหัวของโครงสร้างที่มีขั้วจะชอบน้ำขณะที่ส่วนหางซึ่งไม่มีขั้วจะไม่ชอบน้ำ ดังนั้น การรวมตัวกันของสารไขมันชนิดที่มีขั้วในน้ำจะมีได้ 3 แบบคือ ไมเซลล์ (micelle) โมโนเลเยอร์ (monolayer) และไบเลเยอร์ (bilayer) [14] ดังแสดงในรูปที่ 2-15



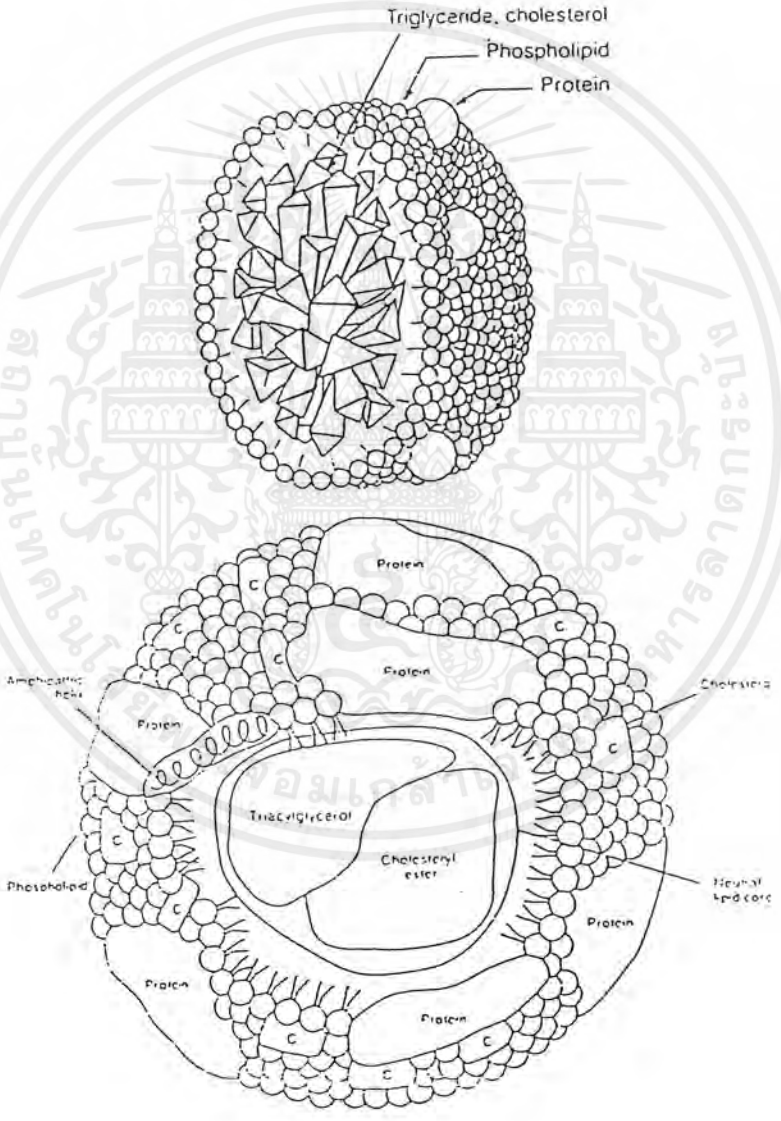
รูปที่ 2-15 โครงสร้างแบบต่างๆของลิปิดในน้ำ [14]

ส่วนสารไขมันชนิดที่เป็นกลางหรือไม่มีขั้ว ไม่สามารถเกิดโครงสร้างโมเลกุลแบบไมเซลล์หรือแบบไบเลเยอร์ได้ด้วยตัวเอง เพราะจะไม่มีส่วนหัวที่ชอบน้ำ ดังนั้นจึงอาจกระจายตัวในน้ำโดยอาศัยสารไขมันชนิดมีขั้ว หรือเกลือของกรดน้ำดี (bile salt) แทน [14]

ไลโปโปรตีน เป็นอนุภาคที่ประกอบด้วยแกนเป็นลิปิดที่ไม่ชอบน้ำล้อมรอบด้วยชั้นของลิปิดมีขั้วและอะโปโปรตีน ลิปิดอยู่รวมกับโปรตีนที่จำเพาะด้วยพันธะนอนโควาเลนท์ ไลโปโปรตีนมีปริมาณลิปิดประมาณ 50-90 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย ลิปิดมีขั้วหรือฟอสโฟลิปิดและไตรเอซิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอล นอกจากนี้ยังประกอบด้วยคอเลสเตอรอล และคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ในปริมาณต่างกัน สำหรับโปรตีนที่จำเพาะนั้นมีกรดอะมิโนชนิดไม่มีขั้วปริมาณสูง ลิปิดชนิดไตรกลีเซอรอลและคอเลสเตอรอล ซึ่งไม่มีขั้วจะอยู่บริเวณด้านในของโมเลกุล ถูกล้อมรอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำสายโซ่โพลีเปปไทด์หรือหัวไฮโดรฟิลิกของฟอสโฟลิปิดชั้นนอกของไลโปโปรตีนนี้จะหันเข้าหาน้ำ ทำให้ไลโปโปรตีนละลายน้ำได้ [14] ดังรูปที่ 2-16



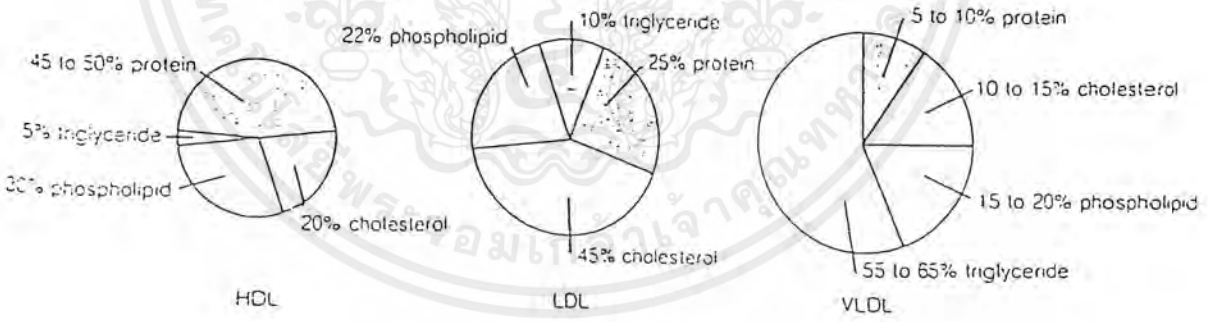
รูปที่ 2-16 แสดงพลาสมาไลโปโปรตีน [52,55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไลโปโปรตีนที่เป็นตัวขนส่งไขมันในเลือดแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นแตกต่างกัน เนื่องจากมีปริมาณไขมันและโปรตีนที่แตกต่างกัน หากแบ่งไลโปโปรตีนในน้ำเลือดตามความหนาแน่นจะแบ่งได้ 4 กลุ่มคือ chylomicron, VLDL (Very Low Density Lipoprotein), LDL (Low Density Lipoprotein) และ HDL (High Density Lipoprotein) ซึ่งมีขนาดอนุภาคต่างกันจากใหญ่ไปหาเล็กตามลำดับ ไลโปโปรตีนแต่ละกลุ่มจะมีความหนาแน่นและองค์ประกอบแตกต่างกัน [14] ดังแสดงใน ตารางที่ 2-8 และรูปที่ 2-17

ตารางที่ 2-8 ความหนาแน่นและองค์ประกอบของไลโปโปรตีน [14]

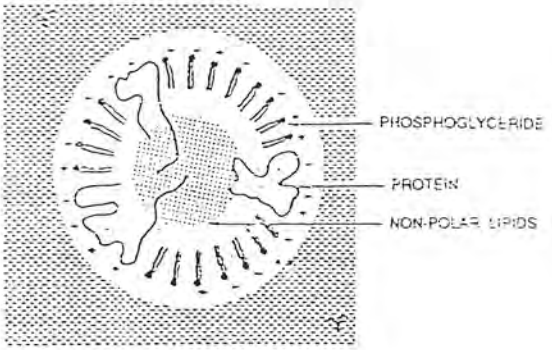
ไลโปโปรตีน	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ไตรกลีเซอไรด์ (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสโฟลิปิด (เปอร์เซ็นต์)	คอเลสเตอรอล (เปอร์เซ็นต์) อิสระ	เอสเทอร์
chylomicron	0.92-0.96	1	80-90	3-6	1-3	2-4
VLDL	0.95-1.00	8	50-70	15-20	7	12
LDL	1.00-1.06	21	10	22	8	38
HDL	1.06-1.21	40-50	5	30	3-6	13-18



รูปที่ 2-17 แสดงองค์ประกอบของไลโปโปรตีนในน้ำเลือด [52]

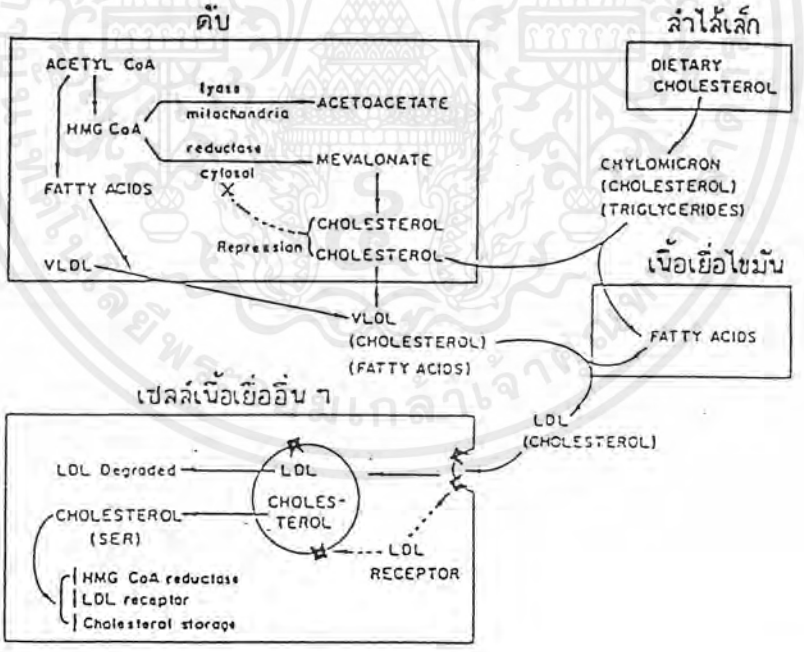
โครงสร้างของไลโปโปรตีนในน้ำเลือด มีลักษณะเดียวกับการเกิดไมเซลล์ โดยมีฟอสโฟลิปิดอยู่ด้านนอก และมีโปรตีนแทรกอยู่โดยทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2-18 จึงทำให้โปรตีนสามารถพาสารไขมันซึ่งไม่ชอบน้ำเคลื่อนที่ไปในกระแสเลือดได้ [52]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-18 โครงสร้างของไลโปโปรตีน [14]

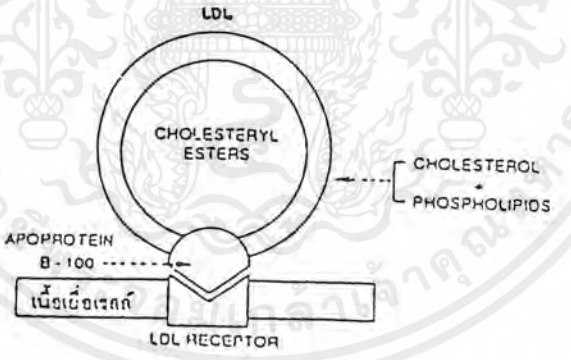
คอเลสเตอรอลในร่างกายมนุษย์ นอกจากจะได้จากอาหารซึ่ง chylomicron พามาจากลำไส้เล็กแล้ว ในไซโตพลาสซึมของเซลล์เนื้อเยื่อหลายชนิดในร่างกาย อาทิ ตับ ลำไส้เล็ก ผิวหนัง ต่อมหมวกไตส่วนเปลือก สามาถสร้างคอเลสเตอรอลขึ้นเองได้ โดยเฉพาะที่สำคัญคือ ตับ โดยสร้างจาก 3-hydroxy-3-methyl glutaryl CoA (HMGCoA) ซึ่งมี acetyl CoA เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญ [14] ดังแสดงในรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 การควบคุมการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับ โดยปริมาณคอเลสเตอรอลที่ได้รับจากอาหาร (ผ่านลำไส้เล็ก) และการกระจายคอเลสเตอรอลจากตับไปยังเนื้อเยื่ออื่นๆ [11,14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

acetyl CoA นี้ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารไขมัน (โดยเฉพาะไตรกลีเซอไรด์) คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโนบางชนิด ปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหาร เป็นตัวควบคุมระดับคอเลสเตอรอลที่ต้องสร้างขึ้น โดยถ้าตับได้คอเลสเตอรอลจากอาหารมาก การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับก็จะลดลง ถ้าได้คอเลสเตอรอลจากอาหารน้อย ตับจะสร้างคอเลสเตอรอลขึ้นเอง คอเลสเตอรอลจากตับถูกส่งไปในกระแสเลือดโดยมี VLDL พาไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย โดยประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของคอเลสเตอรอลในเลือดจะรวมอยู่กับกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นคอเลสเตอรอล เอสเทอร์ ส่วนอีกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ร่างกายใช้สร้างวิตามินดีที่เซลล์ผิวหนัง ใช้สังเคราะห์สเตอรอยด์ฮอร์โมน หรือขับออกจากร่างกายโดยตรงทางปัสสาวะ อุจจาระ เมื่อส่งกรดไขมันให้เนื้อเยื่อไขมันเก็บไว้แล้ว VLDL จะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นกลายเป็น LDL ซึ่งยังมีคอเลสเตอรอลเกาะอยู่ และจะถูกพาไปยังเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย โดยเนื้อเยื่อที่ได้รับคอเลสเตอรอลต้องมี LDL receptor ที่ผิวเซลล์ ซึ่งทำหน้าที่จับกับ apoprotein B-100 ของ LDL อย่างจำเพาะ ดังรูปที่ 2-20 จากรูปที่ 2-20 LDL receptor จะพา LDL ที่มีคอเลสเตอรอลนี้เข้าไปในเซลล์ จากนั้น LDL ก็จะถูกสลายโดยเอนไซม์ไนไลโซโซม ปล่อยคอเลสเตอรอลให้ไปเป็นส่วนประกอบเพื่อใช้ในการสร้างหรือซ่อมแซมเยื่อเซลล์ของเนื้อเยื่อนั้น [14]



รูปที่ 2-20 การจับกันอย่างจำเพาะระหว่าง apoprotein B-100 ของ LDL receptor ของเยื่อเซลล์ [11,14]

ปริมาณคอเลสเตอรอลที่เนื้อเยื่อได้รับนี้ จะสามารถลดปริมาณเอนไซม์ HMGCoA reductase ในเนื้อเยื่อนั้น ทำให้เนื้อเยื่อนั้นไม่ต้องสร้างคอเลสเตอรอลเอง เมื่อได้รับคอเลสเตอรอลมากก็จะเก็บไว้ในรูปเอสเทอร์ และจะลดจำนวน LDL receptor บนผิวเซลล์ด้วย ดังนั้นการที่ระดับ LDL และคอเลสเตอรอลในเลือดสูง อาจมีสาเหตุเป็นไปได้ 3 ประการ ประการแรกคือ ร่างกายได้รับคอเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอรอลจากอาหารมากเกินไป ประการที่สอง ตับสร้างคอเลสเตอรอลมากเกินไป และประการที่สาม เนื้อเยื่อต่างๆขาด LDL receptor ทำให้ไม่สามารถรับคอเลสเตอรอลจากเลือดได้ จึงมี LDL สะสมอยู่ในเลือดมาก ซึ่งระดับของ LDL receptor ในเยื่อเซลล์ต่างๆจะเป็นตัวกำหนดการกระจายคอเลสเตอรอลจากเลือดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ คอเลสเตอรอลที่ถูกนำไปยังเยื่อเซลล์และทำหน้าที่เสร็จสิ้นแล้ว รวมทั้งคอเลสเตอรอลที่อยู่ตามผนังด้านในของหลอดเลือด จะถูก HDL นำกลับไปเผาผลาญที่ตับ และเปลี่ยนให้เป็นกรดน้ำดี (bile acid) และเกลือของกรดน้ำดี (bile salt) ซึ่งร่างกายนำไปใช้ในการย่อยไขมัน และหลังจากทำหน้าที่เสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะถูกขับออกจากร่างกาย ดังนั้น หากสาเหตุที่ทำให้ระดับ LDL และคอเลสเตอรอลในเลือดสูงทั้ง 3 ประการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อยู่ในสภาพปกติและผนังของเส้นเลือดอยู่ในสภาพปกติ โอกาสที่คอเลสเตอรอลจะตกค้างอยู่ในหลอดเลือดจึงมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามเนื่องจาก LDL ซึ่งนำคอเลสเตอรอลออกจากตับนั้นเป็นไลโปโปรตีนที่มีขนาดอนุภาค (particle) ใหญ่กว่า HDL เมื่อใดที่ระดับ LDL และคอเลสเตอรอลในเลือดสูง โอกาสที่จะเกิดการสะสมของ LDL และคอเลสเตอรอลขึ้นในเส้นเลือดจึงมีมากกว่าพวก HDL ซึ่งเป็นไลโปโปรตีนที่มีขนาดเล็กที่สุด และหากผนังเส้นเลือดเกิดการเสียหาย (damage) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นเลือดหัวใจและเส้นเลือดสมองด้วยแล้ว การสะสมของ LDL เหล่านี้ซึ่งเกาะอยู่กับเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบนผนังหลอดเลือดจะมากขึ้น ความยืดหยุ่นของหลอดเลือดลดลง ส่งผลให้หลอดเลือดหัวใจแคบเข้า จนในที่สุดเกิดการอุดตัน ซึ่งหากเกิดขึ้นที่หลอดเลือดหัวใจ ทำให้เลือดไปเลี้ยงหัวใจไม่พอ เป็นเหตุให้กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด และเซลล์บางส่วนตาย นำไปสู่โรคหัวใจล้มเหลว และหากเกิดกับเส้นเลือดในสมองจะทำให้สมองขาดเลือด และที่สุดเป็นอัมพาตได้ [14]

นอกจากจะได้รับกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวจากอาหารที่รับประทานแล้ว ร่างกายของมนุษย์นั้น ยังสามารถสร้างกรดไขมันขึ้นได้เอง จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมันดังได้กล่าวแล้ว กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้ร่างกายจะเผาผลาญให้พลังงานได้ โดยส่วนใหญ่จะเผาผลาญกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นหลัก ส่วนชนิดไม่อิ่มตัวนั้น ร่างกายจะใช้สร้างสารที่จำเป็นอื่นๆต่อการดำรงชีพ นอกจากนั้นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวยังถูกเก็บไว้ในเซลล์เนื้อเยื่อไขมัน และถูกนำไปสร้างเป็นสารไขมันสะสมในร่างกายทางหนึ่งด้วย เนื่องจากกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นกรดไขมันชนิดที่รวมอยู่กับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด ดังนั้น ปริมาณที่มากเกินปกติของคอเลสเตอรอลและกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในร่างกาย ไม่ว่าจะได้จากอาหารหรือที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นในวิถีเมตาบอลิซึมของไขมัน ประกอบกับขนาดของ VLDL และ LDL ซึ่งเป็นตัวพาคอเลสเตอรอลส่วนใหญ่และสารไขมันอื่นเล็กน้อยไปในกระแสเลือด และการที่ผนังหลอดเลือดเกิดความเสียหาย มีสภาพขรุขระ เนื่องจากถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่น้ำมันหรือไขมันโดยทั่วไปถูกความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตน้ำมันพืช ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในบางขั้นตอนของกระบวนการผลิต หรือแม้การนำน้ำมันเก่าที่ทอดซ้ำๆหลายครั้งมาใช้ใหม่ เหล่านี้ต่างล้วนเป็นสาเหตุทำให้เกิดการอุดตันของเส้นเลือดทั้งสิ้น [14]

2.4.2.2 บทบาทของสาร eicosanoids ต่อการแข็งตัวของเลือด

คนเราได้สารไขมันประเภทโอเมกา-6 มาจากอาหารที่มีกรดลิโนเลอิค (linoleic acid; LA) และสำหรับอาหารของชาวตะวันตกนั้น พวกเขาได้สารไขมันประเภทโอเมกา-3 จากอาหารที่มีกรดแอลฟาลิโนเลนิค (α-linolenic acid; ALA) ในขณะที่กลุ่มชนที่มีอัตราการเกิดโรคหัวใจต่ำนั้น แหล่งที่มาของสารไขมันโอเมกา-3 ได้มาจากอาหารที่มี EPA และ DHA ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งอาหารไขมันที่ปลอดภัยกว่า [14]

กรดไขมันจากอาหารบางส่วน สามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันรูปอื่นได้ในร่างกาย เพื่อทำหน้าที่สำคัญที่สุดบางอย่างเช่นใช้ในการสร้างสารกลุ่มพลอสตาแกลนดิน (plostaglandin, PG) ซึ่งเป็นสารคล้ายฮอร์โมนที่มีหน้าที่สำคัญทางชีววิทยามากเป็นกรดอินทรีย์ที่ละลายได้ในไขมันพรอสตาแกลนดินทุกชนิดเป็นอนุพันธ์ของกรดไขมันที่มีชื่อว่า กรดพรอสตาโนอิก (prostanoic acid) ที่มีคาร์บอน 20 อะตอม คาร์บอนอะตอมที่ 8 ถึง 12 เป็นส่วนของวงแหวนไซโคลเพนเทน (cyclopentane ring) สังเคราะห์ขึ้นจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดกรดอะแรคคิโดนิค (5, 8, 11, 14-eicosatetraenoic acid) พบครั้งแรกในสิ่งที่หลั่ง (secretion) มาจากต่อมลูกหมาก (prostate gland) พรอสตาแกลนดินมีหน้าที่ควบคุมกระบวนการต่างๆในร่างกายเช่น กระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบ ควบคุมความดันโลหิต เหนี่ยวนำให้เกิดการแข็งตัวของเลือด ควบคุมวัฏจักรการตื่นนอน-การนอนหลับ ควบคุมระดับน้ำตาลของร่างกาย การบีบตัวของมดลูกในระยะรอบเดือนสตรี การหลั่งน้ำย่อยของระบบทางเดินอาหาร การสืบพันธุ์ ภูมิคุ้มกัน การอักเสบและการเจ็บปวด หน้าที่ต่างๆเหล่านี้สามารถเกี่ยวโยงไปถึง เรื่องของโรคหัวใจ ข้ออักเสบ หอบหืด ปวดศีรษะไมเกรน ต้อหิน เบาหวาน มะเร็ง และความผิดปกติอื่นๆอีก พรอสตาแกลนดินจะสร้างขึ้นและถูกใช้ไปภายในเซลล์ โดยไม่มีการเก็บสะสม และจะถูกทำลายอย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์ในร่างกาย เนื้อเยื่อแต่ละชนิดจะสร้างพรอสตาแกลนดินในปริมาณที่ต้องการใช้เท่านั้น โดยจะต้องมีกรดไขมันต้นกำเนิดที่เหมาะสมในปริมาณที่เพียงพอในเนื้อเยื่อนั้น การทำงานของอวัยวะบางระบบขึ้นอยู่กับสมดุลของสารในกลุ่ม พรอสตาแกลนดิน หน้าที่ของพรอสตาแกลนดินมีทั้งผลดีและผลไม่พึงปรารถนาต่อร่างกาย ผลที่ดีส่วนใหญ่เกิดจากการควบคุมหรือทำงานโดยพรอสตาแกลนดินกลุ่ม PG1 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม PG3 [7,19]

PG1 สร้างมาจาก GLA ส่วน PG3 สร้างมาจาก EPA และ DHA สำหรับ PG2 ซึ่งมีอยู่ในปริมาณค่อนข้างมาก สร้างมาจาก LA และกรดอะแรคคิโดนิค (ARA) ซึ่งมีอยู่ในพืชผัก PG2 ทำให้เกิดผลที่พึงประสงค์หลายอย่าง และพร้อมๆกันนั้นก็ทำให้เกิดผลที่ไม่พึงประสงค์หลายอย่างเช่นเดียวกัน LA และ ARA ยังให้สารประกอบบางตัวซึ่งเกี่ยวข้องกับพรอสตาแกลนดิน และก่อให้เกิดผลไม่พึงปรารถนาต่อร่างกาย การกินอาหารที่ไม่ถูกต้อง การเจ็บป่วย และความชราภาพจะยับยั้งไม่ให้ ALA เปลี่ยนไปเป็น EPA หรือ DHA อาหารที่ไม่ถูกต้อง วิตามินบางชนิดน้อยเกินไป และไขมันอิ่มตัวมากเกินไป ก็จะขัดขวางการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเช่นกัน เมื่อเป็นดังนั้นคนส่วนใหญ่ไม่มีการสะสมของ EPA DHA และ GLA ในระดับที่เพียงพอ จึงไม่สามารถสร้าง PG3 และ PG1 ได้เต็มที่ เกิดความไม่สมดุลขึ้นโดยระดับ PG2 จะสูงขึ้น มีผลทำให้เลือดเหนียวกว่าปกติ เกิดปัญหาต่อเยื่อหุ้มเซลล์ต่างๆอักเสบและปัญหาต่อสุขภาพอื่นๆอีกด้วย พรอสตาแกลนดินยังแยกออกเป็นหลายชนิดด้วยกัน ภายในกลุ่ม PG1 PG2 และ PG3 อีก โดยเติมตัว E หรือ F ตามหลัง PG ลงไป จนถึงปัจจุบันนี้ นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบพรอสตาแกลนดินมากกว่า 20 ชนิดด้วยกัน ตัวที่สำคัญได้แก่ PGE PGF และ PGI [17]

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เซลล์เกือบทุกชนิดยกเว้นเซลล์เม็ดเลือดแดง สามารถจะสร้างสารพรอสตาแกลนดิน และสารประกอบที่เกี่ยวข้องที่เรียกว่า ไอโคซานอยด์ (eicosanoids) ซึ่งล้วนแต่เป็นสารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม ไอโคซานอยด์มีคุณสมบัติเหมือนฮอร์โมน คือมีผลทางสรีรภาพที่ความเข้มข้นต่ำ และมี cAMP เป็นตัวส่งข่าวในเซลล์ แต่มีคุณสมบัติต่างจากฮอร์โมนคือ ไม่ถูกขนส่งในกระแสเลือดไปยังบริเวณที่ออกฤทธิ์ แต่จะออกฤทธิ์ตรงบริเวณที่ถูกสังเคราะห์ [19]

บทบาทของสารไอโคซานอยด์ (eicosanoids) ต่อการแข็งตัวของเลือด จากการที่เราทราบว่า กรดไขมันที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างสารไอโคซานอยด์ คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่ม n-3 และ n-6 การที่จะมีการสร้างสารไอโคซานอยด์กลุ่มใดนั้น ขึ้นกับว่าเริ่มต้นจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มใดโดยปกติกระบวนการเติมคาร์บอนและการเติมพันธะคู่แก่กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีสายไฮโดรคาร์บอนยาว 18 ตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันกลุ่ม n-6 และกลุ่ม n-3 นั้นจะมีการแข่งขันกันของเอนไซม์ชนิดเดียวกันที่เกี่ยวข้องในการสร้างไอโคซานอยด์ และโดยปกติแล้ว กลุ่ม n-6 จะแข่งขันได้ดีกว่า ซึ่งหมายความว่า การสร้างกรดอะแรคคิโดนิคจากกรดลิโนเลอิค (n-6) เกิดขึ้นได้ดีกว่าการสร้าง EPA จากกรดลิโนเลนิค (n-3) แม้จะมีระดับของกรดลิโนเลนิคสูง ผลก็คือ จะมีการสร้างสารกลุ่มไอโคซานอยด์จากกรดอะแรคคิโดนิคมากกว่าสารกลุ่มไอโคซานอยด์ที่สร้างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EPA DPA (docosapentaenoic acid) และ DHA [1]

กลุ่มของไอโคซานอยด์ที่ถูกสร้างขึ้นทั้งจากกรดอะแรคคิโดนิคและ EPA ซึ่งประกอบด้วย leukotriene (LT), prostaglandin (PG) และ thromboxane (TX) นั้น ตัวที่ได้มีการศึกษาแล้วว่า มีบทบาทต่อการแข็งตัวของเลือดและป้องกันการเกิดเส้นเลือดตีบตันคือ PGI_2 และ TXA_2 จากกรดอะแรคคิโดนิคและ TXA_3 จาก EPA [1]

เลือดในร่างกายมนุษย์ ประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดแขวนลอยอยู่อย่างอิสระในน้ำเลือด (plasma) เซลล์อิสระเหล่านี้ได้แก่ เม็ดเลือดแดง (erythrocyte) เม็ดเลือดขาว (leukocyte) และเกล็ดเลือด (thrombocyte หรือ platelet) เซลล์อิสระเหล่านี้จะทำหน้าที่ต่างๆกัน เซลล์ที่มีหน้าที่ช่วยทำให้เลือดแข็งตัว (blood clotting)คือ เกล็ดเลือด เมื่อหลอดเลือดขาดหรือผนังด้านในของเส้นเลือดถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ หรือเมื่อเป็นแผล เซลล์เกล็ดเลือดจะมารวมตัวกัน และถูกจับไว้ด้วยร่างแห fibrin กลายเป็นคลอท (clot) ตัวการสำคัญที่ชักนำเซลล์เกล็ดเลือดมารวมตัวกันคือไอโคซานอยด์ชนิด TXA_2 ในเซลล์เกล็ดเลือดนั่นเอง [1]

TXA_2 นี้ถูกสร้างจากกรดอะแรคคิโดนิค ซึ่งร่างกายเปลี่ยนมาจากกรดลิโนเลอิคในอาหารที่เรารับประทานเข้าไป การเกิดคลอทนี้หากเกิดบริเวณบาดแผลภายนอกร่างกาย ก็จะมีประโยชน์ช่วยทำให้เลือดแข็งตัว บาดแผลหายเร็ว แต่หากเกิดขึ้นภายในร่างกาย จะเป็นปรากฏการณ์เริ่มต้นของการเกิดเลือดคั่ง การไหลของกระแสเลือดซึ่งจะมี LDL และคอเลสเตอรอลสูงก็จะสะดุด จนทำให้เส้นเลือดตีบ กรดอะแรคคิโดนิคที่อยู่บริเวณผนังเส้นเลือดจะถูกเปลี่ยนเป็นไอโคซานอยด์อีกตัวหนึ่งคือ PGI_2 ซึ่งมีบทบาทในการระงับการรวมตัวของเกล็ดเลือด จึงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เลือดแข็งตัว ในร่างกายของมนุษย์ที่แข็งแรงและมีสุขภาพดีโดยทั่วๆไปนั้น ผลของ PGI_2 และ TXA_2 ต่อเกล็ดเลือดจะอยู่ในสภาวะที่สมดุล ทำให้เลือดไม่แข็งตัว แต่ถ้าเมื่อใดหลอดเลือดขาดหรือผนังด้านในของเส้นเลือดถูกทำลาย ทำให้ระดับของ PGI_2 ซึ่งถูกสร้างบริเวณผนังเส้นเลือดลดลง มีผลกระทบต่อสมดุลของ TXA_2 และ PGI_2 เกล็ดเลือดก็จะมารวมตัวกันดังกล่าว [1]

TXA_3 เป็นไอโคซานอยด์ที่ไม่มีคุณสมบัติทำให้เกล็ดเลือดมารวมตัวกัน จึงเป็นรูป inactive ของ TXA ซึ่งถูกสร้างขึ้นจาก EPA อันเป็นสับสเตรทที่ดีมากสำหรับเอนไซม์ synthetase ดังนั้น ถ้าในร่างกายมี EPA มากก็จะมีการสร้าง TXA_3 มาก ซึ่งเท่ากับเป็นการลดระดับของ TXA_2 ซึ่งเป็นรูป active ของ TXA ลง จึงทำให้โอกาสที่เกล็ดเลือดจะรวมตัวกันแล้วเกิดคลอทมีน้อย ซึ่งเท่ากับว่า TXA_3 เป็นตัวช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดเส้นเลือดตีบได้ นอกจากนั้นตรงบริเวณผนังเส้นเลือดนั้น อาจมีการสร้าง PGI_3 จาก EPA เช่นเดียวกับการที่ PGI_2 ถูกสร้างขึ้นจากกรดอะแรคคิโดนิค และสาร PGI_3 นี้จะมีบทบาทเช่นเดียวกับ PGI_2 คือ ต้านการรวมตัวของเกล็ดเลือด ช่วยให้เลือดไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งตัว [1]

ในระหว่างไอโคซานอยด์ตัวอื่นๆที่เหลือ มีเพียง PGE_2 และ LTB_4 จากกรดอะแรคคิโดนิค และ PGE_3 LTB_5 จาก EPA ที่ได้มีการศึกษาถึงบทบาทต่อร่างกาย แต่สำหรับไอโคซานอยด์ ตัวอื่นๆ บทบาทยังไม่แน่ชัด อย่างไรก็ตาม บทบาทส่วนใหญ่ของ PGE_2 PGE_3 LTB_4 และ LTB_5 จะไม่เกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด แต่จะเกี่ยวกับอาการอื่นๆเช่น PGE_2 ส่งผลให้เกิดอาการบวม อักเสบ (inflammation) ขณะที่ PGE_3 จาก EPA ช่วยลดความรุนแรงของอาการดังกล่าวลง ส่วน LTB_4 เป็นตัวสำคัญที่ชักนำให้เกิดการรวมตัวของ neutrophil ซึ่งเป็นเม็ดเลือดขาวชนิดหนึ่ง ขณะที่ LTB_5 จาก EPA ช่วยยับยั้งบทบาทของ LTB_4 ลง เป็นต้น [1]

จากที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่า EPA มีความสำคัญต่อมนุษย์ การที่จะอาศัยการสร้าง EPA ขึ้นในร่างกายมนุษย์ จากกรดลิโนเลนิคอย่างเดียวนั้นไม่เป็นการเพียงพอ เมื่อเทียบกับกรดอะแรคคิโดนิคที่ร่างกายสร้างขึ้นจากกรดลิโนเลอิค โดยมีเหตุผลที่สนับสนุนคือ ในน้ำมันพืช ซึ่งมนุษย์หันมานิยมรับประทานแทนไขมันจากสัตว์เพื่อลดการเกิดการอุดตันของหลอดเลือดนั้น มีกรดลิโนเลอิค (n-6) สูงแต่มีกรดลิโนเลนิคต่ำประการหนึ่ง ในวิถีเมตาบอลิก (metabolic) ของการสร้างสารกลุ่มไอโคซานอยด์นั้น สำหรับเอนไซม์ชนิดเดียวกันแล้ว กรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่ม n-6 จะแข่งขันได้ดีกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกลุ่ม n-3 ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้นประการหนึ่ง ประกอบกับไอโคซานอยด์ชนิด TXA_3 และ PGI_3 ที่สร้างจาก EPA มีบทบาทลดหรือยับยั้งการเกิดคลอทของเกล็ดเลือดที่ผนังหลอดเลือด ขณะที่ไอโคซานอยด์ที่สร้างจากกรดอะแรคิโดนิคเพียงตัวเดียวคือ PGI_2 มีบทบาทลดหรือยับยั้งการเกิดคลอท แต่อีกตัวหนึ่งคือ TXA_2 มีบทบาทสำคัญยิ่งในการทำให้เกิดคลอทของเกล็ดเลือด และมีการกล่าวถึงว่า ไอโคซานอยด์ทั้ง 4 ชนิด (TXA_3 PGI_3 PGE_3 LTB_5) ซึ่งสร้างจาก EPA จะ active น้อยกว่า ไอโคซานอยด์คู่ของมันที่สร้างจากกรดอะแรคคิโดนิค ประกอบกับ คุณสมบัติการเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวของ EPA เองซึ่งโดยวิถีเมตาบอลิซึมของไขมันในร่างกายแล้ว ร่างกายจะใช้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเพื่อสลายให้พลังงานน้อยกว่ากรดไขมันอิ่มตัว และแม้ว่าไขมันทุกชนิดจะถูกเมตาบอไลท์ (metabolited) เป็น acetyl CoA ซึ่งนอกจากจะเป็นตัวเริ่มต้นในการนำไปสร้างกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดขึ้นมาใหม่ในร่างกาย โดยเมื่อรวมกับกลีเซอรอล จะกลายเป็นไขมันสะสมตามเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายแล้ว ยังนำไปสร้างเป็นคอเลสเตอรอลขึ้นอีกด้วย แต่เนื่องจากร่างกายมักนำกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปสร้างเป็นสารโมเลกุลโครงสร้าง และสารอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตมากกว่า เมื่อเทียบกับกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งยังมีบทบาทเป็นตัวพาคอเลสเตอรอลไปตามกระแสเลือดด้วย ทั้งหมดที่กล่าวมานี้จึงจำเป็นที่มนุษย์จะต้องแสวงหา EPA จากแหล่งอาหารโดยตรง เพื่อให้ร่างกายได้รับ EPA อย่างเพียงพอ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเรื่อง HDL และ LDL ได้มีรายงานจำนวนมากเสนอผลการค้นคว้าออกมาในช่วงเวลาไม่กี่ปีมานี้ และสรุปว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HDL และ LDL นั้นเกี่ยวพันกับโรคหัวใจจริง ถ้าปริมาณ LDL ในเลือดสูงจะทำให้เพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจสูงไปด้วย แต่เมื่อ HDL สูง อัตราการเสี่ยงต่อโรคหัวใจจะลดน้อยลง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า HDL จะช่วยเก็บคอเลสเตอรอล และนำไปสู่ตับเพื่อเผาผลาญเปลี่ยนให้เป็นกรดน้ำดี ดังนั้น โอกาสที่จะเป็นโรคหัวใจจึงลดลง [11]

2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและรักษาโรคของ EPA และ DHA

2.4.3.1 คอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์

งานวิจัยของวอน ลอส และคณะ [17] ได้รายงานถึงผลของการศึกษาในคนเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1978 โดยทำการศึกษาในพระและซี โดยให้รับประทานอาหารที่มีปลาหางแข็งหรือปลาทู ซึ่งมีปริมาณ EPA และ DHA สูงเป็นเวลา 3 สัปดาห์ สลับกับการให้เนยแข็ง (ซึ่งมีกรดไขมันกลุ่ม n-3 ต่ำ) แทนปลาหางแข็งหรือปลาทูเป็นระยะเวลาอีก 3 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า ในระยะแรกที่กินอาหารที่มี EPA และ DHA สูงนั้น ระดับคอเลสเตอรอลและน้ำตาลในเลือดลดลง แต่หลังจากที่กินอาหารที่มีเนยแข็งเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ระดับไขมันกลับขึ้นสู่ระดับเดิมอีก ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์ของ EPA และ DHA ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

วารสารจากสมาคมแพทย์อเมริกา ได้มีการรายงานถึงผลการศึกษาและทำการทดลองที่ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ ณ มหาวิทยาลัยโอเรกอนว่า เมื่อให้อาสาสมัครกินปลาแซลมอนที่มี EPA และ DHA เป็นส่วนประกอบในอาหาร เป็นเวลา 10 วันพบว่า ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดของคนปกติลดลง 17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในคนที่มีระดับคอเลสเตอรอลสูงอยู่ก่อนแล้วจะลดลง 20 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า ระดับของไตรกลีเซอไรด์ในเลือดคนปกติจะลดลงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และในคนที่มีระดับไตรกลีเซอไรด์สูงอยู่ก่อนแล้วจะลดลงได้ถึง 67 เปอร์เซ็นต์

แวน เก้นท์ และคณะ [17] ได้มีการทดลองโดยให้น้ำมันปลา ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันโอเมกา-3 81 เปอร์เซ็นต์ โดยมี EPA 25 เปอร์เซ็นต์ และ DHA 38 เปอร์เซ็นต์แก่อาสาสมัคร 10 คนซึ่งไม่กินปลา เขาพบว่า การกินกรดไขมันโอเมกา-3 ในปริมาณ 8 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์นั้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับของคอเลสเตรอลหรือ HDL ในซีรัม แต่ระดับไตรกลีเซอไรด์และ VLDL ในซีรัมมีระดับลดลงอย่างมาก การไม่มีผลต่อระดับของ HDL อาจเกิดขึ้นเนื่องจากกรดโอเมกา-3 อยู่ในรูปเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งให้ผลแตกต่างจากการใช้ในรูปของกรดโอเมกา-3 EPA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซส์และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาโดยให้อาสาสมัครรับประทานปลาหางแข็งรมควันหรือสตู วันละ 500 ถึง 800 กรัมร่วมกับคาร์โบไฮเดรตบางชนิด พบว่า เกล็ดเลือดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก คือลดการจับกลุ่มและลดความหนืดเหนียวของเกล็ดเลือด

เซนอลและเวเรล [17] ให้ EPA ในปริมาณ 20 ซีซี แก่อาสาสมัครเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าระดับคอเลสเตอรอลชนิด HDL ในเลือดสูงขึ้น ส่วนระดับไตรกลีเซอไรด์ลดลง แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระดับคอเลสเตอรอลรวม ต่อมาทั้งสองได้ทำการศึกษาแบบเดียวกันนี้ในคนไข้โรคหัวใจ พบว่าได้ผลเช่นเดียวกับอาสาสมัครที่มีสุขภาพปกติ

ฮาร์วิสและคอร์นเนอร์ [17] ได้ศึกษาผลของน้ำมันปลาที่มีต่ออาหารคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง จะไปเพิ่มระดับของกรดไขมันที่มีความหนาแน่นต่ำมาก (Very Low Density Lipoprotein; VLDL) และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด VLDL เป็นพาหะที่ใช้ในการขนส่งไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนของคอเลสเตอรอลในเลือด VLDL มีขนาดเล็กกว่าไลโปโปรตีนชนิดไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) และชนิดไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง (HDL) เป็นที่ยอมรับกันว่า การมีระดับ HDL สูงกว่า LDL จะสามารถป้องกันไม่ให้เกิดโรคหัวใจได้ บทบาทของ VLDL ยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างชัดเจน แต่นักวิจัยเชื่อว่า การมีระดับ VLDL สูงจะทำให้เสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ มีการศึกษาโดยเปรียบเทียบระหว่างผลของน้ำมันปลาและน้ำมันพืชที่มีต่อระดับ VLDL และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของคนที่กินอาหารคาร์โบไฮเดรตสูง โดยให้อาสาสมัครกินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต 45 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 45 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลาหนึ่ง ขั้นต่อไปเปลี่ยนอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรต 75 เปอร์เซ็นต์และไขมัน 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันจากถั่วและเนยโกโก้อีกระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นใช้น้ำมันปลาแทนน้ำมันพืชโดยไม่เปลี่ยนแปลงสารอาหารชนิดอื่น ผลการทดลองปรากฏว่า กลุ่มของอาสาสมัครที่กินคาร์โบไฮเดรตสูงและไม่มีน้ำมันปลา จะมีระดับไตรกลีเซอไรด์สูงกว่าค่าเฉลี่ยถึง 85 เปอร์เซ็นต์ และระดับ VLDL สูงเป็น 2 เท่าของค่าเฉลี่ย แต่เมื่ออาสาสมัครกลุ่มเดิมเปลี่ยนไปกินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงและมีน้ำมันปลาด้วย ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดจะลดลงมาก คือ ลดลงต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของคนที่กินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตปานกลาง ส่วน VLDL ในเลือดลดลง 78 เปอร์เซ็นต์ และระดับของคอเลสเตอรอลลดลง 65 เปอร์เซ็นต์ภายใน 3 วัน หลังจากที่อาสาสมัครเริ่มกินอาหารที่มีน้ำมันปลา

ดร. พอล เนสเทล แห่งสถาบันวิจัยทางการแพทย์เบเกอร์ กรุงเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลีย [17] ได้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มน้ำมันปลาในอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูงนั้นจะสามารถป้องกันไม่ให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงขึ้นได้ และช่วยลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคหัวใจ ทำการทดลองโดยให้อาสาสมัครกินอาหาร 3 ประเภทคือ อาหารปกติ อาหารที่มีน้ำมันปลา และอาหารที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีน้ำมันปลาผสมไข่แดง เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ อาหารปกติมีอัตราส่วนของไขมันไม่อิ่มตัวต่อไขมันอิ่มตัวในอัตราส่วน 0.47 และมีปริมาณคอเลสเตอรอล 710 มิลลิกรัมต่อวัน อาหารที่มีน้ำมันปลามีปริมาณ MaxEPA 40 กรัมต่อวัน มีอัตราส่วนของไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนต่อไขมันอิ่มตัวในอัตราส่วน 1.62 และมีปริมาณคอเลสเตอรอล 190 มิลลิกรัมต่อวัน ผลของการทดลองเมื่ออาสาสมัครเปลี่ยนจากกินอาหารปกติมากินอาหารที่มีน้ำมันปลาพบว่า ระดับไขมันชนิดต่างๆในเลือด คือ คอเลสเตอรอล VLDL LDL HDL และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง แต่เมื่อเปลี่ยนไปกินอาหารที่มีน้ำมันปลาผสมไข่แดง ซึ่งมีคอเลสเตอรอลสูง พบว่า ระดับไขมันต่างๆในเลือดกลับไม่สูงขึ้น ยกเว้นคอเลสเตอรอลที่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่า น้ำมันปลามีผลต่อการลดระดับของไลโปโปรตีนและคอเลสเตอรอล ถึงแม้ว่าจะผสมไปในอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูงก็ตาม

2.4.3.2 โรคหลอดเลือดหัวใจ

ในปีค.ศ. 1982 นักวิจัยที่โรงเรียนแพทย์มหาวิทยาลัยมิชิแกน [17] ได้แสดงให้เห็นว่า น้ำมันปลาสามารถลดปฏิกิริยาตอบสนองของเส้นเลือดที่มีต่อฮอร์โมนที่หลั่งเนื่องจากความเครียด และมีการศึกษาทางคลินิกของประเทศญี่ปุ่นบ่งชี้ว่า EPA และ DHA ลดอัตราการรวมตัวของเกล็ดเลือดและลดความหนืดของเลือดลง และสรุปว่า EPA และ DHA ไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียง ทั้งยังมีประโยชน์ในการรักษาและป้องกันโรคหลอดเลือดอุดตันได้

ดร.โรเบิร์ท วิสส์เลอร์ และคณะแห่งมหาวิทยาลัยชิคาโก [17] ทำการศึกษาถึง ผลของน้ำมันปลาต่อผนังหลอดเลือด พบว่า น้ำมันปลาสามารถลดการเกิดแผ่นทึบไขมันที่จับอยู่ตามหลอดเลือด (plaque) ของลิงเรซัส ซึ่งมีลักษณะหลอดเลือดและชีวเคมีใกล้เคียงกับมนุษย์ กลุ่มนักวิจัยได้เลี้ยงลิงเรซัสจำนวน 16 ตัวด้วยอาหารที่มีน้ำมันปลาสูง และอีก 8 ตัวด้วยอาหารที่คล้ายกัน แต่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูง พบว่าลิงกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีน้ำมันปลาสูงนั้น จะเกิดแผ่นไขมันเกาะที่หลอดเลือดน้อยกว่าและมีเซลล์อักเสบมาเกาะน้อยกว่า มีความโน้มเอียงที่จะเกิดภาวะแทรกซ้อนน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ลิงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีน้ำมันปลา ยังมีระดับของคอเลสเตอรอลและ LDL ในเลือดต่ำกว่าด้วย

นักวิจัยที่มหาวิทยาลัยไลเดน ประเทศเนเธอร์แลนด์โดย ดร.ดาน ครอมเฮาท์ ได้ทำการศึกษาระยะยาวเกี่ยวกับผลของน้ำมันปลาต่อการตายอันเนื่องมาจากโรคหัวใจ โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคปลากับการเกิดโรคหัวใจโคโรนารีในกลุ่มคนที่อาศัยอยู่ในเมืองซัทเฟน ประเทศเนเธอร์แลนด์ ในปีค.ศ. 1960 ได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการบริโภคปลาของอาสาสมัครชายอายุกลางคนที่มีสุขภาพดีจำนวน 852 คน ซึ่งไม่เป็นโรคหลอดเลือดหัวใจมาก่อน จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตามผลเป็นระยะเวลา 20 ปีในอาสาสมัครกลุ่มนี้พบว่า 78 คนตายด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจ ในคนที่บริโภคปลาอย่างน้อยวันละ 30 กรัมหรือ 1 ออนซ์ จะมีอัตราการตายต่ำกว่าผู้ที่ไม่ได้กินปลาเลยถึง 58 เปอร์เซ็นต์ และยังสรุปได้ว่า การกินปลาเพียง 1 หรือ 2 มื้อต่อสัปดาห์ก็น่าจะเพียงพอในการป้องกันไม่ให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจได้ จากการติดตามผลของคณะวิจัยยังได้พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวยังคงปรากฏอยู่ตลอดเวลา คือในระหว่างปีค.ศ. 1960 ถึง 1970 มีคนตายด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจโคโรนารีอีก 27 คนและระหว่างปีค.ศ. 1971 ถึง 1980 มีจำนวนอีก 51 ราย และพบว่าหากยิ่งกินปลามาก โอกาสที่จะตายด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจก็ยิ่งน้อยลง [17]

Liu Yujun และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาถึงผลของ EPA และ DHA ที่มีผลต่อการรวมตัวของเกล็ดเลือด ระยะเวลาแข็งตัว (coaggulation time) และส่วนประกอบของกรดไขมันในเนื้อเยื่อโดยทดลองในกระต่าย แบ่งกระต่ายออกเป็น 3 กลุ่มๆละ 7-9 ตัว กลุ่มแรกเป็นกระต่ายที่ได้รับน้ำมันปลาวันละ 2 มิลลิลิตรต่อหนึ่งตัว กลุ่มที่สองให้น้ำมันปลาวันละ 4 มิลลิลิตรต่อหนึ่งตัว และกลุ่มที่สาม ให้น้ำมันมะกอก ทั้งสามกลุ่มจะทำการทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์และมีการให้สารอาหารโดยผ่านทางสายยางลงไปสู่กระเพาะอาหารโดยตรง ผลการทดลองที่ได้ปรากฏว่า กลุ่มที่ให้น้ำมันปลา มีการรวมตัวของเกล็ดเลือดต่ำกว่ากลุ่มที่ให้น้ำมันมะกอก สังเกตได้จาก coaggulation time ในการรวมตัวของเกล็ดเลือดใช้เวลานานขึ้น ซึ่งผลการยับยั้งของน้ำมันปลาต่อการรวมตัวของเกล็ดเลือด จะควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันของพลาสมาและไขมันของเกล็ดเลือด นอกจากนี้ยังพบว่า EPA และ DHA จะเข้าไปเป็นองค์ประกอบของ myocardial และ arotic tissue มากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ในปีค.ศ.1986 ดร.คาร์ล ฮอค แห่งมหาวิทยาลัยแพทยศาสตร์และทันตแพทยศาสตร์ของรัฐนิวเจอร์ซี่ [17] ได้ทำการวิจัยถึงผลของน้ำมันปลาต่อการเสียหายของเนื้อเยื่อหัวใจ และระดับเอนไซม์ในหนู โดยแบ่งหนูเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกให้กินอาหารที่ผสมน้ำมันข้าวโพด กลุ่มที่สองให้กินอาหารที่ผสมน้ำมันปลาด้วย เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นก็ทำการขัดขวางการไหลของเลือดไปที่หัวใจหนู พบว่า หนูกลุ่มที่กินอาหารผสมน้ำมันปลามีการเสียหายของเนื้อเยื่อและระดับเอนไซม์ที่บ่งบอกถึงการทำลายเนื้อเยื่อน้อยกว่าหนูกลุ่มที่กินน้ำมันข้าวโพดและยังพบอีกว่า EPA นั้นเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเซลล์โครงสร้างหัวใจ

ดังนั้น จึงเป็นที่ประจักษ์ชัดแล้วว่า กรดไขมันโอเมกา-3 ช่วยลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน ป้องกันไม่ให้เกิดหัวใจวาย และยังเป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่า กรดไขมันโอเมกา-3 ช่วยลดระดับองค์ประกอบของไขมันต่างๆในเลือดได้ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.3 ความดันเลือด

แพทย์ที่สถาบันกลางของการค้นคว้าเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด ในประเทศเยอรมันตะวันตก ได้รายงานในเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ.1985 ว่า อาหารที่ประกอบด้วยปลาหางแข็งหรือปลาทู ซึ่งมี EPA ในปริมาณ 2.2 กรัมต่อวัน สามารถลดความดันเลือดซิสโตลิกในคนไข้ 8 ราย ซึ่งทุกคนมีโรคความดันผิดปกติทางกรรมพันธุ์ ที่มีระดับไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือดสูง และทำให้เกิดโรคหัวใจในขณะที่อายุยังน้อยอยู่ โรคนี้เรียกว่า familial hyperlipoproteinmia อาหารที่มีปลาหางแข็งหรือปลาทู ยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้เป็นเวลาถึง 3 เดือน หลังจากนั้นระดับกลับสูงขึ้นไปเหมือนเดิมอีก ต่อมาเมื่อได้ทำการศึกษาในคนไข้ 14 รายซึ่งมีความดันเลือดสูงในระดับปานกลาง พบว่า อาหารที่มีปลาหางแข็งหรือปลาทู ลดความดันซิสโตลิกลงได้เกือบ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อคนไข้หันกลับไปกินอาหารปกติ ความดันเลือดก็จะสูงขึ้นเหมือนเดิม และเมื่อให้กินอาหารที่มีปลาหางแข็งหรือปลาทูอีก ความดันเลือดที่สูงขึ้นนั้นก็ลดลงมาสู่ระดับปกติ นักวิจัยกลุ่มนี้สรุปว่าประโยชน์ของปลาทูหรือปลาหางแข็งคือ สามารถลดความดันเลือดสูงขนาดปานกลางลงได้ [16]

ในปีค.ศ.1986 นักวิจัยแห่งโรงพยาบาลทรวงอก กรุงลอนดอน ได้ทำการศึกษาในคนไข้ 16 รายที่มีความดันเลือดสูงไม่มาก โดยให้คนไข้เหล่านี้กินน้ำมันปลา MaxEPA ในรูปของแคปซูลเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าความดันเลือดเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น 160/94 มิลลิเมตรปรอท ได้ลดลงเหลือ 151/92.5 มิลลิเมตรปรอท จะเห็นได้ว่า มีการเปลี่ยนแปลงความดันซิสโตลิก (ขณะที่หัวใจบีบตัว) อย่างชัดเจน [1]

2.4.3.4 โรคข้ออักเสบและลูปัสอีรีมาโตซัส

ดร.ไวท์ อาร์ โรบินสัน ผู้เชี่ยวชาญโรคข้อแห่งโรงพยาบาลกลางแมสซาชูเซ็ทท์ รายงานไว้ว่า MaxEPA มีผลป้องกันการอักเสบต่างๆได้เป็นอย่างดีในสัตว์ทดลองหลายชนิด เขาพบว่า MaxEPA มีผลดีต่อหนูที่เป็นโรคลูปัส [16]

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาในสัตว์ทดลอง ที่มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ซึ่งชี้ให้เห็นว่า EPA ช่วยป้องกันร่างกายจากการโจมตีของภูมิคุ้มกันของตัวเองในโรคออโตอิมมูน เช่น โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ และโรคลูปัสอีรีมาโตซัส โดยศึกษาผลของ EPA ต่อการอักเสบ และโรคไต พบว่า EPA ลดการสร้างสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ ดังนั้นน่าจะมีประโยชน์ในการช่วยให้อาการของข้ออักเสบและลูปัสดีขึ้น ปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งในกระบวนการอักเสบคือ ลิวโคทริอีนบี 4 (LTB_4) ซึ่งทำให้เกิดอาการเจ็บปวดที่ข้อ เนื้อเยื่อในร่างกายสามารถสร้าง LTB_4 จากกรดไขมันโอเมกา-6 ได้ แต่ถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าเป็นกรดไขมันโอเมกา-3 แล้ว ร่างกายจะสร้างลิวโคทริอีนบี 5 (LTB_5) ขึ้นแทน ซึ่ง LTB_5ไม่มีผลเสียต่อร่างกาย [1]

ในปี ค.ศ.1985 บทความในวารสารคลินิคัลรีเสอร์ช [17] รายงานไว้ว่า อาหารที่มีน้ำมันปลาผสมอยู่ด้วยนั้น ช่วยให้สุขภาพของคนไข้ดีขึ้น ดร. โจเอล เอ็ม เครมเมอร์ และคณะ แห่งมหาวิทยาลัยแพทย์อัลบานี ได้ทำการศึกษาในคนไข้โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ 40 รายโดยให้คนไข้ 20 รายแรกกิน MaxEPA 15 แคปซูลต่อวันเป็นเวลา 14 สัปดาห์ และกลับมากินอาหารเดิมโดยไม่มี MaxEPA ส่วนคนไข้อีก 20 คนให้กินแคปซูลเปล่าที่ไม่มี MaxEPA วันละ 15 แคปซูลเป็นเวลา 14 สัปดาห์เช่นเดียวกัน แล้วก็ให้คนไข้ทั้ง 40 คนหยุดพักเป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นก็สลับกลุ่มกันกินแคปซูล พบว่า คนไข้ทั้ง 2 กลุ่มระหว่างที่กินยานั้น พวกที่กินน้ำมันปลามีจำนวนของผู้ที่มีอาการปวดข้อน้อยกว่าพวกที่ไม่ได้กินน้ำมันปลาประมาณครึ่งหนึ่งและเมื่อหยุดกินน้ำมันปลาอาการก็กลับมาอีก นอกจากนี้นักวิจัยยังพบอีกว่า MaxEPA ทำให้อาการเมื่อยล้าเกิดได้ช้าลง ในการประชุมประจำปีของสมาคมโรคข้อแห่งสหรัฐอเมริกา ปีค.ศ. 1986 ดร. เครมเยอร์ ได้รายงานว่า MaxEPA มีผลทำให้ระดับ LTB_4 ลดลงได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ทั้งในคนและในสัตว์ทดลอง และทำให้ระดับของ LTB_5 ในคนเพิ่มขึ้น และกล่าวว่าระดับของ LTB_4 ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนกับอาการปวดข้อที่ลดลง คนไข้ที่ได้รับ EPA จะมีอาการปวดข้อน้อยลง และอาการเมื่อยล้าก็เกิดได้ช้ากว่าเดิมมาก

2.4.3.5 โรคปวดศีรษะไมเกรน

น้ำมันปลา ช่วยลดความถี่และความรุนแรงของอาการปวดศีรษะไมเกรนได้ จากการศึกษาที่ศูนย์การแพทย์แห่งมหาวิทยาลัยซินซินาติ โดยดร. ชาร์ลส์ เจ กลูเอค และคณะ [17] ได้กระทำในคนไข้ที่มีอาการปวดศีรษะไมเกรนอย่างรุนแรง เป็นผู้หญิง 8 คนและชาย 7 คน คนไข้เหล่านี้เมื่อใช้ยารักษาโรคไมเกรนตามปกติแล้วไม่หาย โดยแบ่งคนไข้ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกให้ MaxEPA 15 กรัม ส่วนคนไข้อีกกลุ่มหนึ่งให้กินยาที่ไม่มี MaxEPA เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์เช่นกัน แล้วให้คนไข้ทั้งหมดหยุดพัก 3 สัปดาห์แล้วให้สลับกลุ่มกิน MaxEPA ผลการทดลองปรากฏว่าในคนไข้เพศชาย MaxEPA ลดอาการไมเกรนได้เป็นอย่างดี แต่ในเพศหญิงไม่พบความแตกต่างในระหว่างที่ได้รับ MaxEPA หรือไม่ได้รับ แต่คนไข้ทุกคนมีอาการปวดศีรษะน้อยลง คนไข้ชาย 5 คนจาก 7 คนมีอาการปวดศีรษะลดลงมากกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่คนไข้หญิงเพียง 2 รายจาก 8 รายที่มีอาการปวดศีรษะ นักวิจัยกลุ่มนี้จึงสรุปว่า MaxEPA ลดอาการปวดไมเกรน โดยมีผลเปลี่ยนแปลงต่อการสังเคราะห์พรอสตาแกลนดิน และลดการหลั่งซีโรโตนินของเกล็ดเลือด ซึ่งมีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การรวมกลุ่มของเกล็ดเลือดลดลงในระยะที่มีการบีบตัวของหลอดเลือดในสมอง และยังมีผลดีต่อคนที่ดื้อต่อการรักษาตามปกติ คนไข้ที่ไม่ชอบกินยา และแพ้ยาอีกด้วย

2.4.3.6 โรคมะเร็ง

ผลงานวิจัยค้นคว้าพบว่า อาหารที่มีปริมาณน้ำมันปลาสูง อาจช่วยในการป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของมะเร็งเต้านม ลำไส้ใหญ่ ต่อมลูกหมาก และตับอ่อนด้วย โดยศึกษาในหนูที่ปลูกถ่ายเซลล์มะเร็งที่ได้รับ MaxEPA พบว่า มีระดับของกรดอะแรคคิโดนิค (ARA) สูงขึ้น และระดับพรอสตาแกลนดินและทรอมบ็อกเซน ซึ่งเป็นผลผลิตจากเมตาบอลิสมของ ARA ลดลง ไมโครโซมจากเซลล์มะเร็งของสัตว์ที่ได้รับ MaxEPA สร้าง ARA เมตาโบไลท์ได้น้อยลง สรุปได้ว่า การยับยั้งเมตาบอลิซึมของ ARA เป็นกลวิธีในการยับยั้งการเจริญเติบโตของมะเร็งเต้านม [16]

ดร.เจ เจอร์กาวสกี และดร. ดับบลิวเควฟ แห่งโรงพยาบาลเซนท์แมรีในโรเชสเตอร์ ใช้น้ำมันปลาเมนเฮเดนที่มี EPA และใช้เอ็น-เมทิล-เอ็นไนโตรโซยูเรีย เป็นสารก่อมะเร็ง เขาพบว่า หนูทดลองที่ได้รับน้ำมันปลามีอายุเฉลี่ยยาวขึ้น 38 เปอร์เซ็นต์ เกิดมะเร็งน้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ และก้อนมะเร็งที่เกิดมีขนาดเล็กกว่ามะเร็งในหนูที่ไม่ได้กินน้ำมันปลา 80 เปอร์เซ็นต์ ดร.ทีพีโอ คอนเนอร์ มีการทดลองที่คล้ายคลึงกัน และสรุปได้ว่า น้ำมันปลาซึ่งมีกรดไขมันโอเมกา-3 สูง อาจเป็นตัวยับยั้งการเกิดมะเร็งที่สำคัญ [16]

ในปีค.ศ. 1989 Yonikura และคณะ [56] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับโรคมะเร็ง โดยนำหนูมาให้ DMBA 10 มิลลิกรัม ผ่านทางท่อลงสู่กระเพาะอาหาร เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดโรคมะเร็ง แล้วแบ่งหนูออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ให้อาหารที่ประกอบด้วย perilla oil (ซึ่งมีกรดลิโนเลนิคอยู่มาก)

กลุ่มที่ 2 ให้อาหารเป็น น้ำมันปลา ซึ่งมี DHA สูง

กลุ่มที่ 3 ให้น้ำมันข้าวโพด (มีกรดลิโนเลอิคสูง)

หลังจากสองสัปดาห์ผ่านไปแล้ว หนูกลุ่มที่ได้รับน้ำมันข้าวโพดนั้น มีอาการของโรคมะเร็งที่เต้านมก่อนกลุ่มอื่นๆ และขนาดของมะเร็งเติบโตเร็วมาก จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า พวกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนกลุ่ม n-3 ใน perilla oil และน้ำมันปลา สามารถยับยั้งการเกิดเนื้องอกที่มาจากการเหนี่ยวนำของ DMBA ได้

2.4.3.7 โรคเบาหวาน

ดร. มาร์กาเร็ท เจ อัลบริงค์ ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัยเวสท์เวอร์จิเนีย เมืองมอร์แกนทาวน์ ศึกษาผลของน้ำมันปลาต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดในคนไข้เบาหวาน ได้พบว่า น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันปลาในปริมาณสูงคือ ประมาณ 45 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีกรดไขมันโอเมกา-3 ประมาณ 18 กรัมมี ผลลดระดับไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือดได้ และทำให้การจับกลุ่มรวมกันของเกล็ดเลือดเป็นไปตามปกติ โดยที่ไม่เปลี่ยนแปลงการหยุดของเลือด [16]

เนื่องจากโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดมักจะพบร่วมกับโรคเบาหวาน จึงได้มีการศึกษาผลของน้ำมันปลาต่อโรคเบาหวานขึ้น และพบว่า น้ำมันปลาช่วยให้คนไข้เบาหวานประเภทที่สอง หรือประเภทที่ไม่เกี่ยวข้องกับอินซูลิน สามารถใช้อินซูลินได้ เบาหวานชนิดนี้มักเกิดในคนไข้ที่อ้วน อินซูลินของคนไข้พวกนี้จะสูญเสียความสามารถในการควบคุมระดับน้ำตาลในร่างกาย นักวิจัยชาวเนเธอร์แลนด์ [33] พบว่า ถ้ากิน MaxEPA ประมาณ 30 กรัมต่อวัน จะช่วยในการควบคุมน้ำตาลในเลือดให้ดีขึ้นในคนไข้โรคเบาหวานประเภทนี้ได้

2.4.3.8 อัลไซเมอร์

อัลไซเมอร์ เป็นหนึ่งในกลุ่มโรคสมองเสื่อม พบราว 40-50 เปอร์เซ็นต์ ของโรคสมองเสื่อมทั้งหมด และมักพบในผู้สูงอายุ สาเหตุที่แท้จริงยังไม่ปรากฏแน่ชัด และยังไม่มียารักษาให้หายขาดได้ มีรายงานถึงประสิทธิภาพการทำงานของสมองในผู้สูงอายุที่สัมพันธ์กับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในกลุ่มโอเมกา-3 และโอเมกา-6 พบว่า ผู้สูงอายุมักมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในกลุ่มโอเมกา-3 และโอเมกา-6 ในเซลล์ต่างๆลดลง รวมถึงเซลล์สมอง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคสมองเสื่อม ดังนั้น การเสริมกรดไขมันโอเมกา-3 ชนิด DHA ซึ่งพบมากในเซลล์สมองมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนช่วยรักษาระดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเซลล์ต่างๆเหล่านั้นไว้ได้ [6]

2.4.3.9 ผลของกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 ต่อการตั้งครรภ์

นักวิจัยเชื่อว่า กรดไขมัน DHA มีความสำคัญต่อการทำงานของเซลล์สมอง พบว่า ในสมองส่วน Cerebral Cortex และเรตินาของดวงตา มีปริมาณกรดไขมัน DHA สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมดที่มีในเนื้อเยื่อต่างๆ ข้อมูลมากมายจากการศึกษาวิจัยพบว่า การขาดกรดไขมันในกลุ่ม n-3 ระหว่างการตั้งครรภ์และช่วงที่ต้องให้น้ำนมแก่บุตร จะทำให้เด็กมีความบกพร่องในการมองและอาจสูญเสียความสามารถในการเรียนรู้ ดังนั้น หญิงที่ตั้งครรภ์และช่วงที่กำลังให้นมบุตร จึงควรได้รับกรดไขมันในกลุ่ม n-3 ให้เพียงพอ [12]

ทารกในครรภ์ระหว่าง 3 เดือนก่อนคลอด จะเป็นช่วงที่ระบบประสาทเซลล์สมองทารกมีการพัฒนามากที่สุด และมีการสะสมของกรดไขมัน DHA มากที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทารกคลอดก่อนกำหนด ปริมาณ DHA ที่ทารกจะได้รับมีความสำคัญอย่างมาก เพราะปกติทารกจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับ DHA จากรกมารดา ดังนั้น การให้ DHA ในอาหารแก่เด็กที่คลอดก่อนกำหนดจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ แม้เด็กที่คลอดครบกำหนดก็ควรได้รับ DHA อย่างเพียงพอและควรได้รับต่อเนื่องกันเมื่อเด็กเจริญเติบโตขึ้น นมแม่เป็นอาหารที่วิเศษสุดสำหรับทารก เพราะมีกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวครบถ้วน [6]

นอกจากนี้ งานวิจัยในเด็กคลอดก่อนกำหนดพบว่า การขาดกรดไขมัน DHA มีผลต่อสายตา และอัตราการเต้นของหัวใจทารก และรายงานการวิจัยจากมหาวิทยาลัยมิลานพบว่าทารกที่ได้รับนมสูตรทารกที่เสริม DHA จะมีพัฒนาการของสมองดีกว่าทารกที่ได้รับนมสูตรทารกซึ่งไม่ได้เสริม DHA นักวิจัยจึงแนะนำว่า หากทารกไม่ได้รับนมแม่ ควรจะเสริมด้วยนมสูตรทารกที่เติมกรดไขมัน DHA ส่วนหญิงตั้งครรภ์ 25-35 สัปดาห์ ควรได้รับโอเมกา-3 ในระดับ 0.7 กรัมต่อวัน หรือเท่ากับ 2 เท่าของกรดโอเมกา-3 ที่แนะนำให้รับประทานต่อวัน [6]

สำหรับเด็กทารกแรกเกิด มีความสามารถในการสังเคราะห์กรดไขมัน DHA จำกัด ดังนั้นเด็กทารกจะได้รับกรดไขมัน DHA จากนมแม่ นักวิจัยแนะนำหญิงตั้งครรภ์และแม่ที่ให้นมบุตร ควรได้รับกรดไขมัน DHA จากอาหารอย่างเพียงพอ และควรได้รับกรดไขมันจำเป็นเพิ่มขึ้น 3-4 กรัมต่อวันในระยะ 3 เดือนแรกของการให้นมบุตร หลังจากนั้นควรได้รับกรดไขมันจำเป็นเพิ่มเป็น 5 กรัมต่อวัน ในกรณีเด็กทารกที่ได้รับการเลี้ยงดูด้วยนมผงนั้น จากรายงาน Issfal Board Meeting 1994 แนะนำให้มีการเสริมกรดไขมัน DHA 35-37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวเด็กต่อวันในนมผงที่เลี้ยงทารกดังกล่าว [6]

จากการศึกษาที่ผ่านมา สามารถบ่งชี้ว่า การเพิ่มระดับของน้ำมันปลาในอาหารมีผลดีต่อสุขภาพทั่วไปเป็นอย่างมาก เพราะน้ำมันปลาจะไปปรับระดับของพรอสตาแกลนดินให้เป็นปกติ มีการวิจัยเกี่ยวกับโรคที่รักษายาก ได้แก่ การอักเสบในโรคผิวหนังบางกลุ่มเช่น โรคเรื้อนกวาง (psoriasis) โรค multiplesclerosis โรคที่ทำให้สายตาผิดปกติ โรคไตบางโรค กำลังมีความหวังว่าน้ำมันปลาจะช่วยให้ดีขึ้นได้ [17]

นักวิจัยได้พัฒนาการใช้ประโยชน์ต่างๆเช่น นำมาบรรจุแคปซูลเป็นอาหารเสริม เพื่อป้องกันคอเลสเตอรอล นำมาใช้ผสมในนมผง โดยจะต้องนำน้ำมันปลามาห่อหุ้ม (encapsulation) และทำให้เป็นผง เพราะน้ำมันปลาเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับทารกในการสร้างภูมิคุ้มกัน และมักจะขาดหายไปในน้ำนมวัว ตลอดจนมีการนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารบางประเภท เช่น สลัดครีม หรือผสมในเนื้อไส้กรอก หรือผสมในแซนด์วิชสเปรด เป็นต้น [16]

ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ก็มีการใช้ประโยชน์ของน้ำมันปลาอย่างกว้างขวาง เนื่องจากอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วโลกได้เติบโตและขยายตัวอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยงกุ้งทะเล ปลาทะเลที่มีราคาแพง ซึ่งน้ำมันปลาเป็นองค์ประกอบในอาหารที่สัตว์ทะเลชนิดต่างๆต้องการและขาดเสียมิได้ เพราะเมื่อสัตว์ทะเลมีชีวิตอยู่ในธรรมชาติ ก็จะได้กรดไขมันประเภทโอเมกา-3 จากแพลงตอนในทะเล หรือจากกินสัตว์ทะเลชนิดอื่นเป็นอาหาร เมื่อเราผลิตอาหารสำเร็จรูปจากกากถั่วเหลือง ข้าวโพด หรืออื่นๆ เพื่อนำมาเลี้ยงสัตว์เหล่านี้โดยไม่มีการเติมน้ำมันปลาลงไป ก็จะทำให้สัตว์ทะเลที่เลี้ยงไม่สามารถเจริญเติบโตตามที่ควรจะเป็น เพราะการขาดสารอาหารเหล่านี้ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ก็เริ่มหันมาให้ความสนใจน้ำมันปลาเนื่องจากน้ำมันปลาเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งจะทำให้มีการนำน้ำมันปลามาใช้เลี้ยงสัตว์วัยอ่อน เพื่อเพิ่มอัตราการอยู่รอดและมีสุขภาพที่แข็งแรง [16]

นอกจากนี้ ยังมีการนำน้ำมันปลาไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อเยื่อของสัตว์ต่าง ๆ อีกด้วย เช่น การทดลองของ Ratnayaki และคณะ ในปีค.ศ. 1989 [41] ได้ทำการศึกษาถึง ผลของการให้อาหารที่มี n-3 PUFA (Poly Unsaturated Fatty Acid) ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันในกล้ามเนื้อของไก่ ทำการทดลองโดยให้ไก่กินปลาแดง (red fish) ซึ่งมี n-3 PUFA เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณ 4, 8 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งให้กินผักอย่างเดียว ทำการทดลองเป็นเวลา 42 วัน จากนั้นก็นำเนื้อไก่มาตรวจสอบ (โดยเฉพาะเนื้อส่วนสีดำและสีขาว) เพื่อวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบของไขมันและกลิ่นของเนื้อไก่ว่ามีกลิ่นปลาปนอยู่ด้วยหรือไม่ ปรากฏว่าในเนื้อไก่กลุ่มที่กินปลาแดงมีปริมาณของ n-3 PUFA สูงขึ้นได้แก่ C20:5 ;n-3 (eicosapentaenoic acid; EPA), C22:5 ;n-3 (docosapentaenoic acid; DPA) และ C22:6 ;n-3 (docosahexaenoic acid; DHA) ซึ่งจะพบในเนื้อสีขาวมากกว่าเนื้อสีดำ ทั้งในไก่ตัวผู้และไก่ตัวเมีย ส่วนเรื่องกลิ่นของเนื้อไก่นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่วิธีการนี้สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่เนื้อสัตว์ได้เทียบเท่ากับการบริโภคเนื้อปลาทะเล นอกจากจะมีการทดลองในไก่แล้ว ยังมีการทดลองในเนื้อหมู เนื้อวัว และไข่ไก่อีกด้วย [20] พบว่า ในเนื้อหมูและเนื้อวัวมีปริมาณเนื้อแดงเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง ส่วนในไข่ไก่ก็มีปริมาณคอเลสเตอรอลลดลงเช่นกัน แต่มีปริมาณของกรดไขมัน n-3 เพิ่มขึ้น อีกทั้งรสชาติก็ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 น้ำปลาและขั้นตอนในการผลิต

น้ำปลาเป็นของเหลวที่ได้จากขบวนการหมักปลากับเกลือ มีลักษณะเฉพาะคือ กลิ่นเกลือ (salt flavor) และกลิ่นปลา (fishy smell) ใช้เป็นเครื่องปรุงสำหรับการประกอบอาหาร น้ำปลาทำขึ้นโดยชาวประมง ซึ่งอยู่แถบประเทศทางเอเชีย ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตหลักในการผลิตน้ำปลาและยังเป็นผู้บริโภคที่สำคัญด้วย ซึ่งสิ่งนี้จึงทำให้อุตสาหกรรมน้ำปลาไทยยิ่งใหญ่และดีที่สุดในโลก [7]

น้ำปลามีความสำคัญต่อสุขภาพ ในน้ำปลา 100 มิลลิลิตร มีส่วนประกอบทางเคมีของอาหารที่สำคัญคือ เกลือ 27-28 กรัม, ไนโตรเจน 0.6-2 กรัม และแอมโมเนียมไนโตรเจน 0.2-0.7 กรัม ปริมาณไนโตรเจน 40 กรัม ที่ถูกต้องการในการบริโภครายวัน ซึ่งถือเป็นปริมาณที่ได้รับอนุญาตด้วย โดยที่ 7.5 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนนั้นจะสามารถได้รับจากน้ำปลาเพียง 100 มิลลิลิตร [7]

ได้มีการวิจัยว่าน้ำปลาเป็นแหล่งที่สำคัญของเกลือแร่และกรดอะมิโนที่จำเป็นมากกว่า 13 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ ไลซีน (lysine) ส่วนประกอบอื่นๆของน้ำปลาได้แก่ วิตามินบี 12 ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นต่อสุขภาพ วิตามิน บี12ในน้ำปลาจะมีปริมาณ 1-5 ไมโครกรัมใน 100 ซีซี และได้มีงานวิจัยพิสูจน์ว่า คนต้องการวิตามิน บี12 เพียง 1 ไมโครกรัมต่อวัน [7]

น้ำปลามีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ละประเทศแถบเอเชีย ตัวอย่างเช่น คนไทยเรียก "Nam Pla" (น้ำปลา), คนฟิลิปปินส์เรียก "Patis", ชาวจีนเรียก "Yeesui" และชาวเวียดนามเรียก "Nuoc Nam" [7]

น้ำปลาสามารถถูกจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ตามขบวนการผลิต ตามการประกาศของ กระทรวงสาธารณสุขไทย [7] คือ

1. น้ำปลาแท้ (Pure fish sauce) : น้ำปลาที่ได้จากการหมักปลา หรือกากที่เหลือจากการหมัก
2. น้ำปลาที่ทำจากสัตว์ชนิดอื่นๆ : น้ำปลาที่ทำจากสัตว์ทะเลชนิดอื่นที่ไม่ใช่ปลากะตัก
3. น้ำปลาเจือจาง (Diluted fish sauce) : น้ำปลาที่มีการเติมด้วยสารที่ไม่เป็นอันตรายหรือเติมสารแต่งกลิ่นสี (flavor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการเลือกน้ำปลาเพื่อให้ได้น้ำปลาแท้ [7]

1. มีสัญลักษณ์รับประกันคุณภาพจาก มอก. (Thai industrial standard institute, TISI) บนฉลาก
2. มีสัญลักษณ์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งประเทศไทย (Thai FDA)
3. มีชื่อยี่ห้อและ ชื่อผู้ผลิต
4. มีวันผลิตและวันหมดอายุ
5. มีลักษณะใส โปร่งใสสีเหลืองน้ำตาลคล้ายอำพัน (golden brown, amber) และมีกลิ่นปลา (fishy smell)

น้ำปลาที่มีคุณภาพจะต้องได้มาตราฐานตามที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ [7] คือ

- จะต้องมีกลิ่น "fishy odor" และรสของน้ำปลาแท้บริสุทธิ์
- ต้องใสไม่มีกลิ่นเจือปนอื่นๆ นอกจากสารที่ได้ตามธรรมชาติในการหมัก (ไม่มากกว่า 0.1 กรัม/ลิตร)
- ปริมาณไนโตรเจนรวมไม่น้อยกว่า 19 กรัมต่อลิตร
- ปริมาณกรดอะมิโนไนโตรเจนไม่น้อยกว่า 9.5 กรัมต่อลิตร
- เกลือโซเดียมคลอไรด์ไม่น้อยกว่า 230 กรัมต่อลิตร
- ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 1.20
- ค่าความเป็นกรด (pH) ไม่น้อยกว่า 5.0 และ ไม่มากกว่า 6.0
- ต้องไม่เติมสารกันบูด,สี ยกเว้น คาราเมล (caramel)
- ไม่มีสารให้ความหวานเจือปน ยกเว้นน้ำตาล

สามารถจำแนกคุณภาพน้ำปลาตามเกรดได้ดังนี้ [7]

- คุณภาพอันดับ 1 เรียก เกรด " A "
- คุณภาพอันดับ 2 เรียก เกรด " B "
- คุณภาพอันดับ 3 เรียก เกรด " C "

ซึ่งสามารถพบได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน มีผลต่อการแบ่งเกรดของน้ำปลาโดยที่ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนมาก จะจัดว่าน้ำปลานั้นมีคุณภาพดี นอกจากนี้แล้วเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน ยังมีผลต่อราคาของน้ำปลาด้วย [7] เกรดของน้ำปลาสามารถแสดงรายละเอียดแต่ละชั้นคุณภาพได้ตามตารางที่ 2-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-9 แสดงความแตกต่างของน้ำปลาแต่ละเกรด [7]

	เกรด A	เกรด B	เกรด C
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (กรัม/ลิตร)	> 20	15-16	12-13
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	> 12.5	> 9.38	> 7.5
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 25 องศาเซลเซียส	> 1.20	> 1.20	> 1.20
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด* (cfu/ml)	< 1 x 104	< 1 x 104	< 1 x 104
โคลิฟอร์ม	ผลเป็นลบ	ผลเป็นลบ	ผลเป็นลบ
เกลือ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	26-27.9	26-27.9	26-27.9
ความขุ่น (เปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่านที่ 550 นาโนเมตร, transmittance)	58-68	58-68	58-68

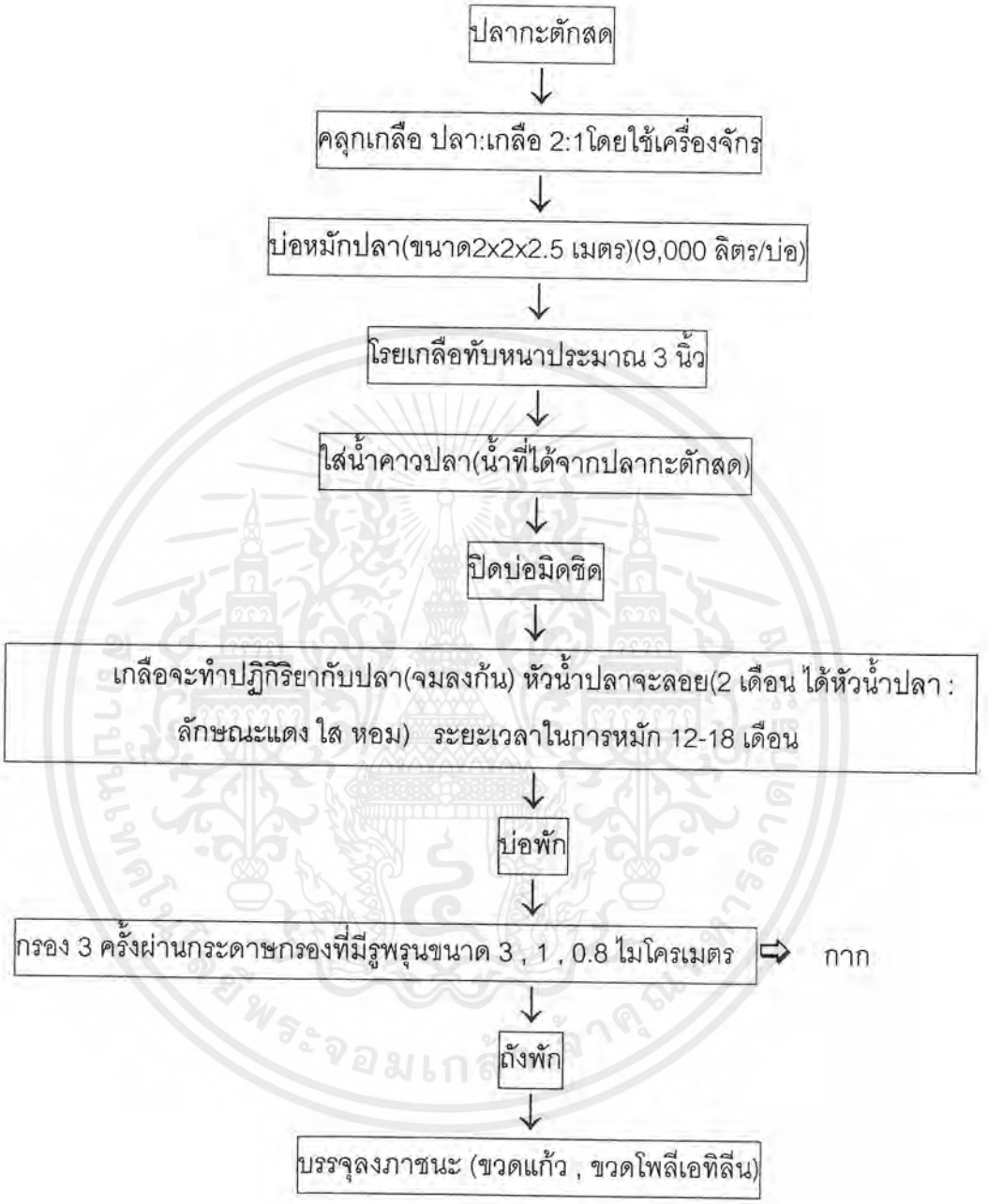
* cfu/ml = colony forming unit per milliliter

ขั้นตอนในการผลิตน้ำปลา [7]

วัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำปลา คือ ปลา ซึ่งจะใช้ปลากะตักสด (Anchovy fish) มาทำการหมักเพื่อให้ได้น้ำปลาที่ดีมีคุณภาพ ซึ่งจะมีลักษณะใสกลิ่นดี

สำหรับน้ำปลาแท้ (pure fish sauce) จะใช้ปลากะตักสด (Anchovy fish) มาทำการหมักในบ่อดังภาพที่ 2-22 บ่อที่ใช้ในการหมักจะเป็นบ่อหมักกลางแจ้ง ช่วงที่มีการหมักจะมีการปิดบ่อเพื่อป้องกันการปนเปื้อน การหมักจะมีการนำปลากะตักมาหมักกับเกลือดังภาพที่ 2-23 โดยบริเวณก้นบ่อจะมีการโรยเกลือไว้ก่อนแล้วจึงนำปลากะตักลงบ่อ แล้วทำการโรยเกลือทับอีกชั้นหนึ่ง เกลือที่ใส่ลงไปจะเป็นตัวที่ดูดน้ำคาวปลาซึ่งเป็นน้ำที่ออกมาจากตัวปลากะตักสด ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักประมาณ 12-18 เดือน น้ำปลาที่ได้จะถูกนำมาทำการกรองและบรรจุลงภาชนะต่อไป โดยมีขั้นตอนในการผลิตเป็นดังรูปที่ 2-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-21 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำปลา [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-22 แสดงบ่อหมักน้ำปลา

รูปที่ 2-23 แสดงลักษณะของการหมักน้ำปลาภายในบ่อหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ปลากะตักสด

3.1.2 น้ำปลา

3.1.3 น้ำหมัก

3.1.4 กาก

วัตถุดิบทั้งหมดได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท น้ำปลาพิไชย จำกัด จังหวัดชลบุรี

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

1 เครื่องมือชุดสกัดไขมัน

1.1 Digestion Buchi 425

1.2 Auto soxhlet Buchi 810

2 เครื่องมือ Gas chromatography (GC 17A SHIMADZU)

3 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4 ตู้อบอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส

5 เครื่องบดตัวอย่าง (Moulinex รุ่น Moulinette S.)

6 ชุด water bath

7 เครื่องแก้วที่ใช้วิเคราะห์ทางเคมี

3.2.2 สารเคมี

1 สารเคมีสำหรับชุด Digester Buchi 425

1.1 See Sand บริษัท Fluka Chemika

1.2 Celite 545 บริษัท Fluka Chemika

2 กรดไฮโดรคลอริก

3 ปิโตรเลียมอีเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 กรดไขมันมาตรฐาน ชนิด GC grade

4.1 กรดปาลมิติก

4.2 กรดสเตียริก

4.3 กรดโอเลอิก

4.4 กรดลิโนเลอิก

4.5 กรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก

4.6 กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก

4.7 กรดลิโนเลนิก

5 คลอโรฟอร์ม

6 โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์

7 เมทานอล

8 โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส

9 เบนซีน

3.3 วิธีการทดลองและวิเคราะห์

3.3.1 การศึกษาปริมาณไขมันจาก ปลากะตักสด,น้ำปลา,น้ำหมัก และกาก

3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

1) ปลากะตักสด

1.1 สุ่มตัวอย่างปลากะตักสดจากโรงงานดังรูปที่ 3-1

1.2 นำปลากะตักสดไปอบที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส

1.3 นำปลากะตักที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แล้วเทใส่ถาดอลูมิเนียม นำเข้าตู้อบ 60-70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

1.4 เทใส่บีกเกอร์ แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2) น้ำปลา

ใช้น้ำปลาตราหอยนางรมซึ่งผลิตจาก บริษัท พิไชย จำกัด เพื่อที่จะนำไปทำการย่อยตามขั้นตอนต่อไป

3) น้ำหมัก

แยกกากออกจากน้ำหมักโดยการกรองโดยใช้ Buchner funnel น้ำหมักที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 3-3 จะนำไปทำการย่อยในขั้นตอนที่ 3.3.1.2 ต่อไปส่วนกากที่ได้จะเก็บไว้ใช้เพื่อวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-1 ตัวอย่างปลากะตัก

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างกากผสมน้ำหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-3 ตัวอย่างน้ำหมักที่ได้จากกากกรองแยกกากออกแล้ว

รูปที่ 3-4 ตัวอย่างกากที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) กาก

4.1กากที่แยกได้ (ดังรูปที่3-4) เมื่อทำการนำตัวอย่างน้ำหมักผสมกาก (ดังรูปที่ 3-2) ไปทำการกรองเอาส่วนน้ำหมักออก แล้วนำกากที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส

4.2 ใส่ในบีกเกอร์ ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

3.3.1.2 การย่อยตัวอย่าง

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์หาปริมาณไขมันโดยเครื่องDigester Buchi 425 ทำการย่อยโดยมีsee sand และ celite ซึ่งเป็นตัวจับไขมันดังรูปที่ 3-5

1) ปลากะตัก

1.1 นำตัวอย่างที่เตรียมตามขั้นตอนข้างต้น มาชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 20-25 กรัม จดน้ำหนักที่แน่นอน

1.2 ใส่ Celite ประมาณ 5 กรัม ลงในหลอด Digest

1.3 ใส่ตัวอย่างลงในหลอด Digest แล้วเทกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 4 N ลงไป 25 มิลลิลิตร ทำการคนให้เข้ากัน

1.4 เทกรดไฮโดรคลอริกอีก 25 มิลลิลิตร ลงไป โดยเทผ่านข้างหลอดเพื่อทำการชะล้างตัวอย่างที่ติดตามข้างหลอด

1.5 ทำการเตรียม Frits โดยใส่ See sand 20 กรัม แล้วเกลี่ยให้ผิวหน้าเรียบ ใส่ Celite 5 กรัม ลงไปบน See sand แล้วเกลี่ยให้เรียบเช่นกัน

1.6 ทำการติดตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 3-7

1.7 ตั้งอุณหภูมิ เครื่อง Digester ให้อยู่ที่ระดับ 3

1.8 ทำการย่อยตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.9 ทำการ Suction ตัวอย่างที่ย่อยแล้วผ่าน Frit ที่เตรียมไว้

1.10 ทำการล้างหลอด Digest ด้วยน้ำอุ่นครั้งละ 5 มิลลิลิตร

1.11 นำ Frits ไปอบที่ 90 องศาเซลเซียส

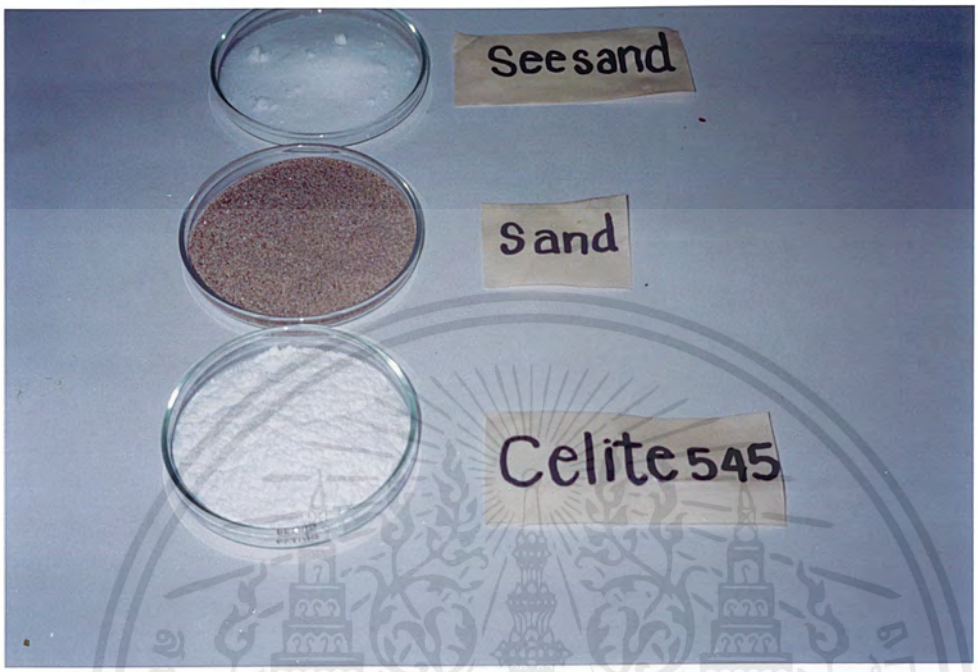
2) น้ำปลา

ตวงน้ำปลาปริมาตร 40 มิลลิลิตรแล้วนำไปย่อยตามวิธีของตัวอย่างที่ 1

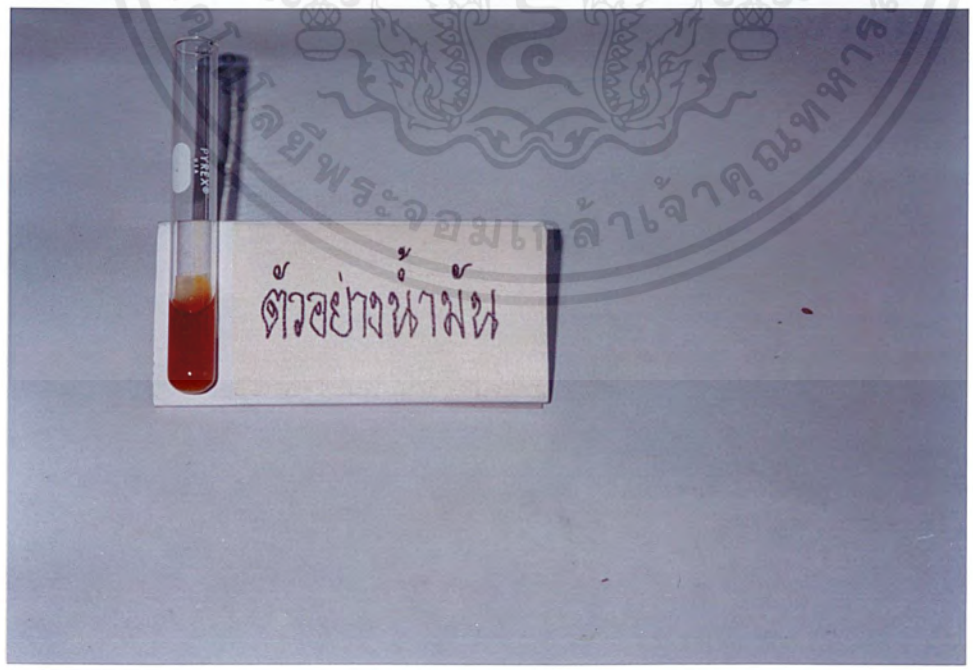
3) น้ำหมัก

ตวงน้ำหมักให้ได้ปริมาตร 40 มิลลิลิตรแล้วนำไปย่อยตามวิธีของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 แสดง see sand และ celite



รูปที่ 3-6 ตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-7แสดงเครื่อง Digester Buchi 424

รูปที่ 3-8 เครื่อง Soxhlet Buchi 810

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) กาก

นำตัวอย่างจากข้อ 1.1.4.2 มาชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 20-25 กรัม จดน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) แล้วนำไปย่อยตามวิธีของตัวอย่างที่ 1

3.3.1.3 การสกัดไขมันโดย auto Soxhlet Buchi 810

1 นำบีกเกอร์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2 นำ Frit ที่อบแห้งเรียบร้อยแล้วมาใส่ในเครื่อง Soxhlet ดังรูปที่ 3-8 พร้อมบีกเกอร์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำมัน

3 ตั้งอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ของระบบไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส

4 ตั้งอุณหภูมิ silicone oil สำหรับให้ความร้อนสารสกัด 120 องศาเซลเซียส

5 ทำการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นสารสกัดจนหมดในบีกเกอร์ เก็บตัวอย่างน้ำมัน (เครื่องจะมีระบบดึงกลับ)

6 นำบีกเกอร์เก็บตัวอย่างน้ำมันไปวางบน Hot plate เพื่อไล่ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่เหลือออกให้หมดจะได้น้ำมันตัวอย่างดังรูปที่ 3-6

7 นำบีกเกอร์ที่มีน้ำมันไปชั่งหาน้ำหนัก

8 คำนวณหาปริมาณไขมันโดย

ปริมาณไขมัน = น้ำหนักบีกเกอร์รวมไขมัน – น้ำหนักบีกเกอร์เปล่า

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน (น้ำหนัก/น้ำหนัก)} = \frac{\text{ปริมาณไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.3.2 การศึกษาปริมาณของกรดไขมัน (AOCS , 1986)

3.3.2.1 เครื่องมือ Gas chromatography

GC 17A ของ SHIMADZU ดังรูปที่ 3-9 และ คอลัมน์ capirally DB – WAX ความยาวขนาด 30 Metors ID 0.53 มิลลิเมตร อุณหภูมิคอลัมน์ ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส 2 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 230 องศาเซลเซียส คงไว้ 25 นาที อุณหภูมิ injector 250 องศาเซลเซียส detector (ชนิด FID) 300 องศาเซลเซียส Program rate 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที Initial time 2 นาที Final hold time 25 นาที ความเร็วในการไหลของก๊าซฮีเลียม 40 เซนติเมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 การเตรียมโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน

3.3.2.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เพื่อหา Retention time ของกรดไขมันแต่ละชนิด

การเตรียมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Jham และคณะ 1982)

1. ชั่งตัวอย่างกรดไขมัน 0.25-0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้วฝาเกลียวขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เติมสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลเข้มข้น 0.5 โมลาร์ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. แช่หลอดในหม้ออังไอน้ำ 5 นาที จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกในเมทานอลในอัตราส่วน 4 : 1 (โดยปริมาตร) 0.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร แช่ในน้ำเดือดอีก 15 นาที
4. ทำให้เย็นลงทันที แล้วเติมน้ำกลั่น 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. สกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ครั้งละ 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2 ครั้ง แยกเอาส่วนปิโตรเลียมอีเทอร์ที่อยู่ชั้นบน มาทำให้แห้งด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส
6. นำไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์จนหมด
7. ละลายเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยคลอโรฟอร์ม 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
8. ฉีดเข้าเครื่อง แกสโครมาโตกราฟฟี ครั้งละ 1 ไมโครลิตร

3.3.2.2.2 เตรียมสารละลายผสมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เพื่อดูลักษณะโครมาโตแกรม, การรบกวนซึ่งกันและกันของกรดไขมันแต่ละชนิด และคำนวณหา Correction factor ของกรดไขมันแต่ละชนิดโดยการผสมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันแต่ละชนิดในข้อ 1 ตัวอย่างละ 0.2 กรัม และเติมเบนซีน 0.2 กรัม (ต้องได้น้ำหนักที่เท่ากันคือ 0.2 กรัมที่แน่นอนเติมคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ฉีดเข้าเครื่องโครมาโตกราฟฟี 1 มิลลิลิตร คำนวณหาค่า correction factor ของกรดไขมันได้ดังนี้

$$\text{correction factor ของกรดไขมัน X} = \frac{\text{พื้นที่ peak ของกรดไขมัน X}}{\text{พื้นที่ peak ของเบนซีน}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 การหาปริมาณกรดไขมันในน้ำมันตัวอย่าง

1 ทำการเตรียมเมทิลเอสเทอร์ เช่นเดียวกับตัวอย่างกรดไขมันมาตรฐาน ในข้อ 2.1 โดย ใช้ตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้ 0.25-0.5 กรัม

2 ชั่งเมทิลเอสเทอร์ของสารตัวอย่าง 0.2 กรัม ผสมเบนซีน 0.2 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องแกสโครมาโตกราฟฟี 1 ไมโครลิตร

3 ระบุชนิดของกรดไขมันที่ได้ โดยเปรียบเทียบกับโครมาโตแกรมมาตรฐาน

$$\text{เปอร์เซ็นต์กรดไขมัน X (โดยน้ำหนัก)} = \frac{F}{Fx} \times 100$$

F = correction factor ของ peak กรดไขมัน X จากน้ำมันตัวอย่าง

Fx = correction factor ของ peak กรดไขมัน X จากโคมาโตแกรมมาตรฐาน

F,Fx คำนวณได้จากสมการหาค่า correction factor ของกรดไขมัน X

$$\text{ปริมาณกรดไขมัน X (กรัม) ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 100 กรัม} = \frac{F}{Fx} \times \%\ \text{crude fat}$$

% crude fat = ปริมาณน้ำมันต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-9 แสดงเครื่อง GC 17Aของ SHIMADZU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การหาปริมาณน้ำมัน (crude oil) ทั้งหมด

การหาปริมาณน้ำมัน (crude oil) ทั้งหมดที่พบในวัตถุดิบแต่ละชนิด คือ ปลากะตักสด น้ำปลา,น้ำหมักและกากในเดือนต่างๆ ซึ่งสุ่มมา 5 เดือนคือ เดือนที่ 1,3,6,9 และ12 จากโรงงานน้ำปลาพิไชย จำกัด พบว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้จากวัตถุดิบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยได้ดังตารางที่ 4-1 และ 4-2

ตารางที่ 4-1 แสดงบริมาณน้ำมันทั้งหมดที่พบในน้ำหมักและน้ำปลา

ชนิดของวัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยโดยปริมาตร
น้ำหมักเดือนที่ 1	0.0070 เปอร์เซ็นต์
น้ำหมักเดือนที่ 3	0.0137 เปอร์เซ็นต์
น้ำหมักเดือนที่ 6	0.0055 เปอร์เซ็นต์
น้ำหมักเดือนที่ 9	0.0035 เปอร์เซ็นต์
น้ำหมักเดือนที่ 12	0.0025 เปอร์เซ็นต์
น้ำปลา	0.0023 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่พบในกากและปลากะตัก

ชนิดของวัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยโดยน้ำหนัก
กากเดือนที่1	1.7060 เปอร์เซ็นต์
กากเดือนที่3	1.9916 เปอร์เซ็นต์
กากเดือนที่6	3.0111 เปอร์เซ็นต์
กากเดือนที่9	4.3831 เปอร์เซ็นต์
กากเดือนที่12	6.4430 เปอร์เซ็นต์
ปลากะตัก	4.3574 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดลองได้ทำการสุ่มน้ำหมักเดือนที่ 1,3,6,9,12 มาทำการทดสอบ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันในกากเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมักเนื่องจากในการหมักน้ำปลาจะเกิดการสะสมของน้ำมันที่กากมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อระยะเวลาในการหมักนานขึ้น ส่วนในน้ำหมักและน้ำปลาจะมีปริมาณน้ำมันน้อยมาก

จากตารางที่ 4-1 ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในน้ำหมักแต่ละเดือนพบว่า จะพบในปริมาณน้อยและมีปริมาณลดลงจนถึงการแปรรูปเป็นน้ำปลา ซึ่งจะมีปริมาณน้ำมันน้อยมากเพียง 0.0023 เปอร์เซ็นต์ แต่พบว่าจะมีบางเดือนที่สูงกว่าปกติ คือเดือนที่ 3 ซึ่งพบว่าสูงกว่าในปริมาณไม่มากนัก คือ สูงกว่าเดือนที่ 1 เพียง 0.0067 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าเดือนที่ 6 เพียง 0.0082 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น การปะปนของปลาชนิดอื่นๆ น่านน้ำที่อยู่ของปลา ฤดูกาลในการจับปลา เป็นต้น

จากตารางที่ 4-2 พบว่าแนวโน้มของน้ำมันในกากเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาในการหมักนานขึ้น ซึ่งถ้าเปรียบเทียบระหว่างกากเดือนที่ 1 กับ กากเดือนที่ 12 ปริมาณน้ำมันจะห่างกันประมาณ 3.7 เท่า ส่วนน้ำมันในปลากะตักจะมีปริมาณเฉลี่ย 4.3574 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งจากตารางที่ 4-1 และ 4-2 นี้สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังแสดงไว้ในส่วนของภาคผนวก ง (รูปที่ ง-1และ ง-2)

4.2 การหาปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัว (AOCS ,1986)

ปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวที่ทำการวิเคราะห์หาปริมาณพบว่า กรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวได้แก่ กรดโอเลอิก, กรดลิโนเลอิก, กรดลิโนเลนิก, กรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก สามารถตรวจพบได้ทุกชนิดดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหรือโดยปริมาตรของกรดไขมันต่อน้ำมัน 100 กรัม

วัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์ C16:0	เปอร์เซ็นต์ C18:0	เปอร์เซ็นต์ C18:1	เปอร์เซ็นต์ C18:2	เปอร์เซ็นต์ C18:3	เปอร์เซ็นต์ EPA	เปอร์เซ็นต์ DHA
น้ำหมักเดือน 1	2.0227	0.6168	1.6135	1.5716	0.4516	0.2193	1.5752
กากเดือน 1	2.3270	1.0997	2.5538	2.2488	0.1348	0.2762	5.6343
กากเดือน 3	9.2212	12.5240	2.0685	0.4075	0.1505	0.3043	3.8275
กากเดือน 6	7.0474	3.6245	2.1437	0.7299	0.0853	0	0.1150
กากเดือน 9	2.1703	0.8765	3.1405	4.6793	0	0.4768	4.0546
กากเดือน 12	2.2313	0.7105	3.9220	0.6869	0	0.1215	6.3212
ปลากะตัก	2.0892	0.9046	2.7702	1.0952	0.0961	0.4488	5.0463

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4-3 สามารถอธิบายตัวอย่างของปลากะตักสดได้ว่าปลากะตักสด 100 กรัม มีน้ำมันอยู่ 4.3574 กรัม ซึ่งในน้ำมัน 100 กรัม จะมีกรดปาลมิติก 2.0892 กรัม กรดสเตียริก 0.9046 กรัม กรดโอเลอิก 2.7702 กรัม กรดลิโนเลอิก 1.0952 กรัม กรดลิโนเลนิก 0.0961 กรัม กรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก 0.4488 กรัม กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก 5.0463 กรัม สำหรับตัวอย่างอื่นๆผลการวิเคราะห์เป็นไปตามตารางที่ 4-3

จากผลการทดลองสามารถอธิบายปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิด ตามตารางที่ 4-3 ได้ โดยที่ปริมาณของกรดโดโคซาเฮกซะอิโนอิกในกากส่วนใหญ่จะมีปริมาณค่อนข้างสูงโดยในกากเดือนที่ 12 มีมากที่สุดคือ 6.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ในเดือนที่ 6 จะมีปริมาณน้อยมากประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าที่พบในกากเดือนอื่นๆ และที่พบในปลากะตัก ส่วนปริมาณของกรดอีโคซาเพนตะอิโนอิกและกรดลิโนเลนิกจะพบในปริมาณน้อยในทุกๆ เดือน โดยที่กรดลิโนเลนิกจะไม่พบในกากเดือนที่ 9 และ 12 เลย ส่วนกรดอีโคซาเพนตะอิโนอิกจะไม่พบในกากเดือนที่ 6 สำหรับปริมาณของกรดลิโนเลอิกจะพบมากในกากเดือนที่ 9 (4.7 เปอร์เซ็นต์) ส่วนกรดโอเลอิกจะพบในวัตถุดิบทุกชนิดในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยจะพบสูงสุดในกากเดือนที่ 12

การที่ปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิด มีปริมาณการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในแต่ละเดือนแตกต่างกันนั้นอาจเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น มีการปนของปลาชนิดอื่นๆในขั้นตอนการหมักซึ่งไม่สามารถควบคุมได้, ความอุดมสมบูรณ์, แหล่งอาหาร, แหล่งที่อยู่อาศัยของปลากะตัก, ฤดูกาลในการจับปลา เป็นต้น

ตารางที่ 4-4 แสดงน้ำหนักของกรดไขมันต่อตัวอย่าง 100 กรัมหรือ มิลลิลิตร

วัตถุดิบ	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	EPA	DHA
น้ำหมักเดือน1	0.0001	4.32×10^{-5}	0.0001	0.0001	3.16×10^{-5}	1.54×10^{-5}	0.0001
กากเดือน 1	0.0397	0.0188	0.0436	0.0384	0.0023	0.0047	0.0961
กากเดือน 3	0.1837	0.2495	0.0412	0.0081	0.0030	0.0061	0.0762
กากเดือน 6	0.2122	0.1091	0.0645	0.0219	0.0025	0	0.0035
กากเดือน 9	0.0951	0.0384	0.1376	0.2051	0	0.0210	0.1777
กากเดือน12	0.1438	0.0458	0.2527	0.0443	0	0.0078	0.4073
ปลากะตัก	0.0910	0.0394	0.1207	0.0477	0.0042	0.0196	0.2200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-4 เป็นการหาน้ำหนักของกรดไขมันต่อตัวอย่าง 100 กรัม หรือมิลลิลิตรซึ่งสามารถอธิบายตัวอย่างของปลากะตักสดได้ว่า ตัวอย่างปลาสด 100 กรัม จะมีกรดปาลมิติก 0.0910 กรัม กรดสเตียริก 0.0394 กรัม กรดโอเลอิก 0.1207 กรัม กรดลิโนเลอิก 0.0477 กรัม กรดลิโนเลนิก 0.0042 กรัม กรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก 0.0196 กรัม กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก 0.2200 กรัม

สำหรับกรดไขมันอิ่มตัวที่พบในโคมาโทแกรมมาตรฐานมีอยู่ 2 ชนิดได้แก่ กรดปาลมิติก และกรดสเตียริก พบว่าในกากเดือนที่ 3 จะพบกรดไขมันชนิดอิ่มตัว 2 ชนิดนี้สูงกว่าเดือนอื่น ๆ คือ 9.2 เปอร์เซ็นต์ และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าที่พบในปลากะตักมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวไปแล้วข้างต้นเช่นกัน

ปริมาณกรดไขมันเป็นเปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำมัน 100 กรัมจากตารางที่ 4-3 และปริมาณกรดไขมันเป็นน้ำหนักต่อตัวอย่าง 100 กรัมหรือมิลลิลิตรจากตารางที่ 4-4 สามารถแสดงเป็นกราฟได้ในภาคผนวก (รูปที่ ง-3 และ รูปที่ ง-4 ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

1 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากปลากะตัก, กาก, น้ำปลาและน้ำหมัก พบว่า ในน้ำหมักและน้ำปลาจะมีปริมาณน้ำมันน้อยมาก และพบว่าในกากเดือนที่ 1,3,6,9,12 จะมีปริมาณน้ำมันสูงขึ้นตามลำดับ ในการทดลองสามารถสรุปได้ว่าในการหมักน้ำปลาจะเกิดการสะสมของน้ำมันที่กากมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อระยะเวลานานขึ้น

2 จากการทดลองสรุปได้ว่าชนิดของกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวที่พบในวัตถุดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ กรดโอเลอิก, กรดลิโนเลอิก, กรดลิโนเลนิก, กรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก (EPA) กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก (DHA)

3 จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าปริมาณของกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 คือ กรดลิโนเลนิก, กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก (DHA) และกรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก (EPA) พบในปริมาณที่แตกต่างกันโดยที่ กรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก (DHA) จะพบในปริมาณค่อนข้างมาก และจะพบมากที่สุดในกากเดือนที่ 12 ส่วนกรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก (EPA) และกรดลิโนเลนิกจะพบในปริมาณน้อย โดยปริมาณกรดลิโนเลนิกจะพบปริมาณน้อยกว่ากรดอีโคซาเพนตะอีโนอิก (EPA) แต่ก็น้อยกว่าในปริมาณ ไม่มากนัก

4 ปริมาณของกรดโอเลอิก จะพบใกล้เคียงกันในกากแต่ละเดือนและพบว่าจะมีปริมาณมากที่สุดในกากเดือนที่ 12

5 ปริมาณน้ำมันและกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวทั้งในกลุ่มโอเมก้า-3 และ โอเมก้า-6 ของวัตถุดิบมีความแปรปรวนไม่คงที่ นอกจากนี้ ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (กรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริก) ในปลากะตักมีปริมาณไม่มากนัก แต่ในกากเดือนที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าในปลากะตักและกากเดือนอื่นๆ นอกจากนี้ในกากเดือนที่ 6 ก็พบว่ามีปริมาณของกรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิกต่ำและมีปริมาณของกรดปาล์มมิติกซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสูงเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1 การผลิตในระดับอุตสาหกรรมปริมาณน้ำมันที่ได้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุนเพราะมีปริมาณน้ำมันน้อยและปริมาณน้ำมันที่ได้ไม่คงที่

2 จากการวิเคราะห์พบว่า ในกากเป็นแหล่งที่ดูดซับน้ำมันไว้ ดังนั้นกากจึงเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานที่มีประโยชน์ควรจะมีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

3 ปริมาณของกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัว ถ้าเทียบเป็นน้ำหนักของกรดไขมันต่อตัวอย่าง 100 กรัมหรือมิลลิลิตร พบว่ามีปริมาณไม่มาก แต่ในกระบวนการหมักน้ำปลาจะใช้ปลาในการหมักปริมาณมาก ดังนั้นถ้าคิดเทียบเป็นปริมาณของกรดไขมันก็จะมีปริมาณมากขึ้นด้วย

โดยจากการทดลองพบว่า ปริมาณของกรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก (DHA) ในกากเดือนที่12 มีปริมาณสูงถึง 6.356 เปอร์เซ็นต์โดนน้ำหนัก ต่อน้ำมัน 100 กรัม ดังนั้นกากเดือนที่ 12 ซึ่งถือเป็นของเหลือทิ้งในการหมักน้ำปลาน่าจะคุ้มค่า หากมีการนำมาทำการสกัดปริมาณกรดโดโคซาเฮกซะอีโนอิก (DHA) ถ้าเทียบกับการนำปลากะตักสดมาใช้ เนื่องจากลดค่าใช้จ่าย และเป็นการใช้ของเหลือทิ้งจากโรงงาน ให้เป็นประโยชน์

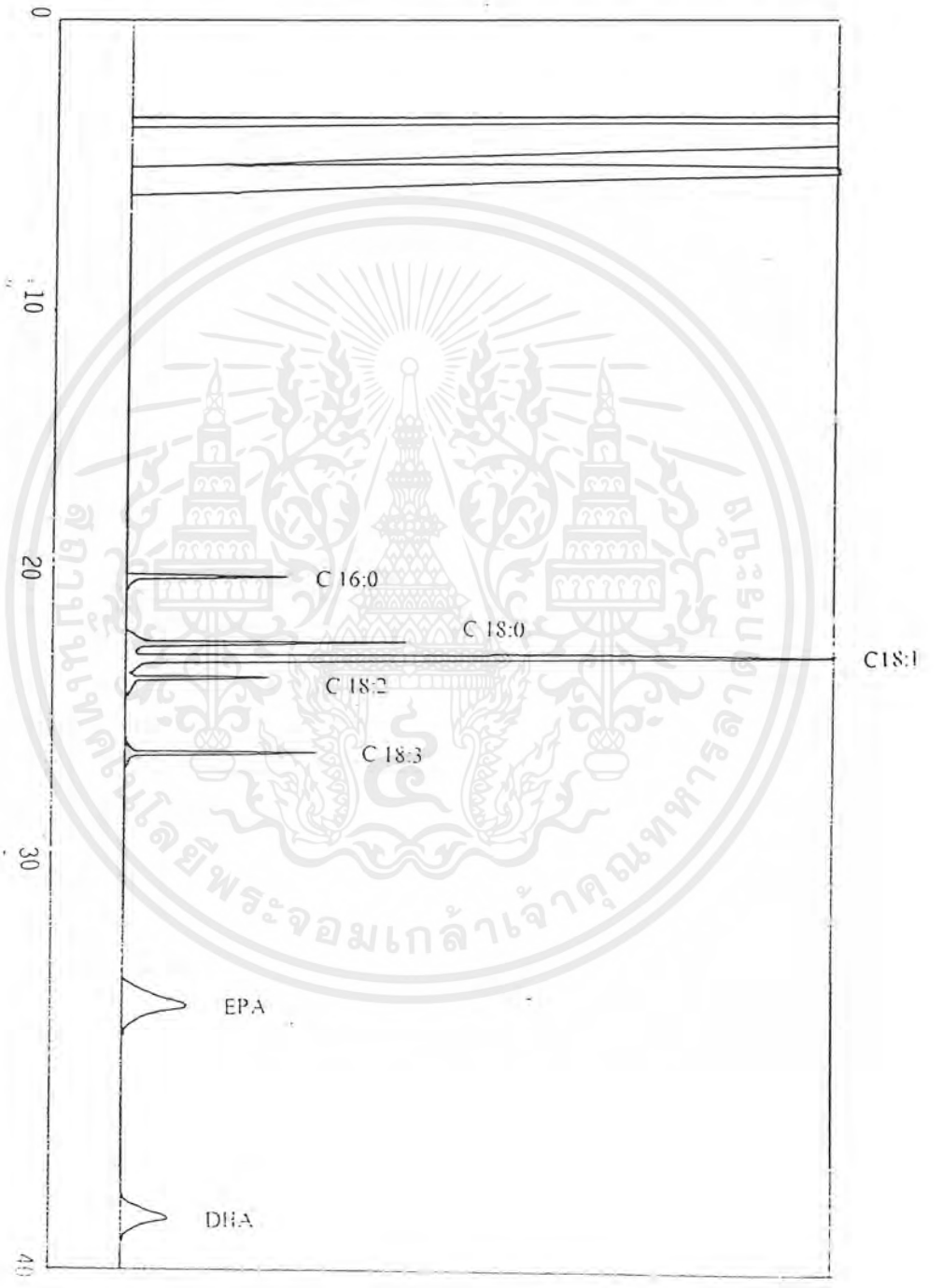
4 สำหรับในน้ำปลามีปริมาณน้ำมันน้อยมาก เนื่องจากขั้นตอนในการผลิตทำให้น้ำมันสะสมที่กาก ซึ่งคาดว่าหากนำนำมันมาทำการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันที่ได้ น่าจะเป็นชนิดเดียวกันกับที่พบในปลากะตัก, กากและน้ำหมัก

5 หากต้องการข้อสรุปยืนยันว่า ระยะเวลาในการหมักมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณกรดไขมันหรือไม่ ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกากแต่ละเดือนและน้ำหมักของแต่ละเดือนนั้นๆ แต่ในการทดลองจะเป็นการสิ้นเปลืองและไม่คุ้มค่ากับเวลาและยังต้องควบคุมตัวแปรอื่นๆที่มีผลกับการหมักด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

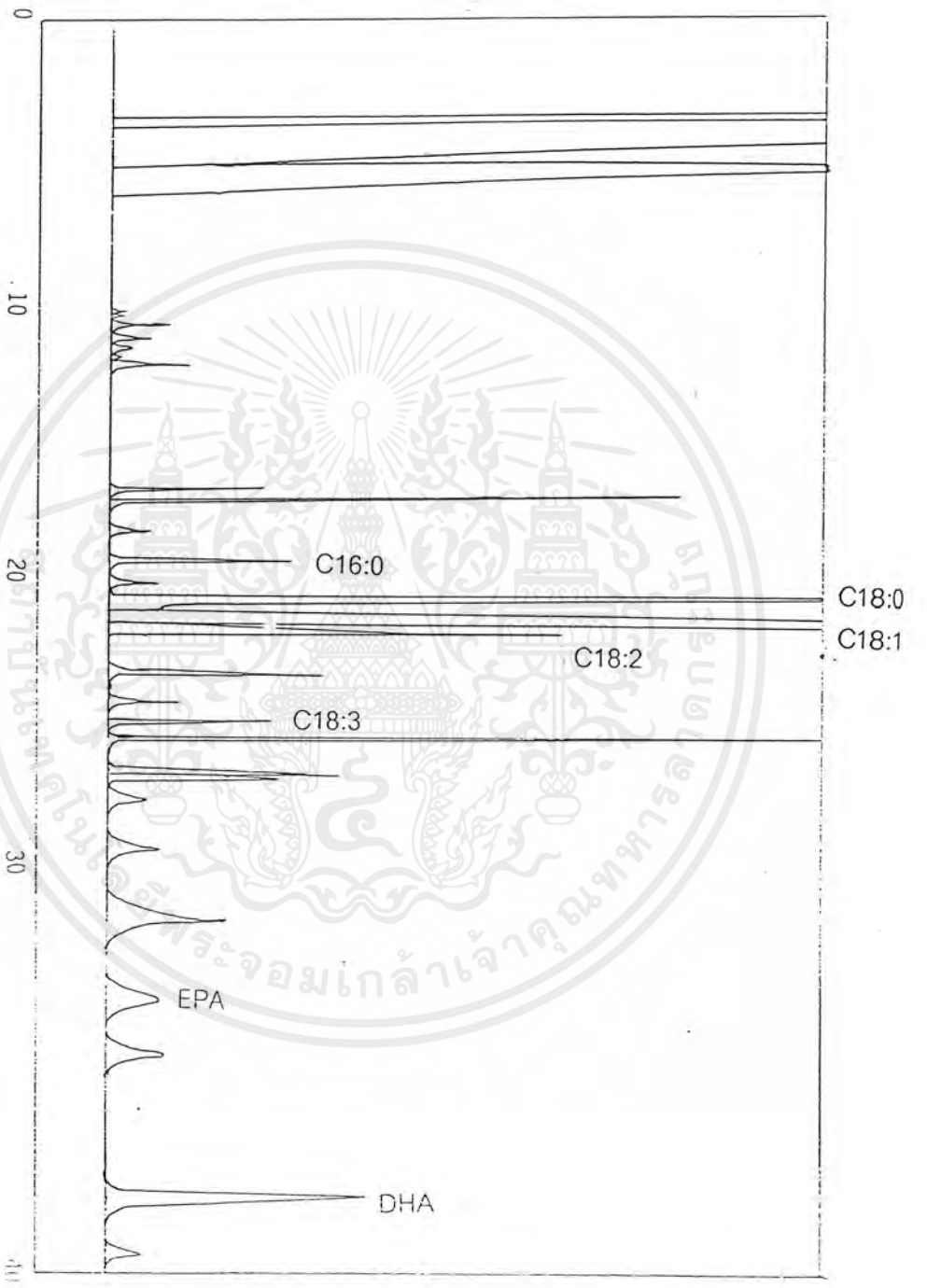
ภาคผนวก ก.

โครมาโทแกรมของกรดไขมันมาตรฐาน และตัวอย่างบางชนิด



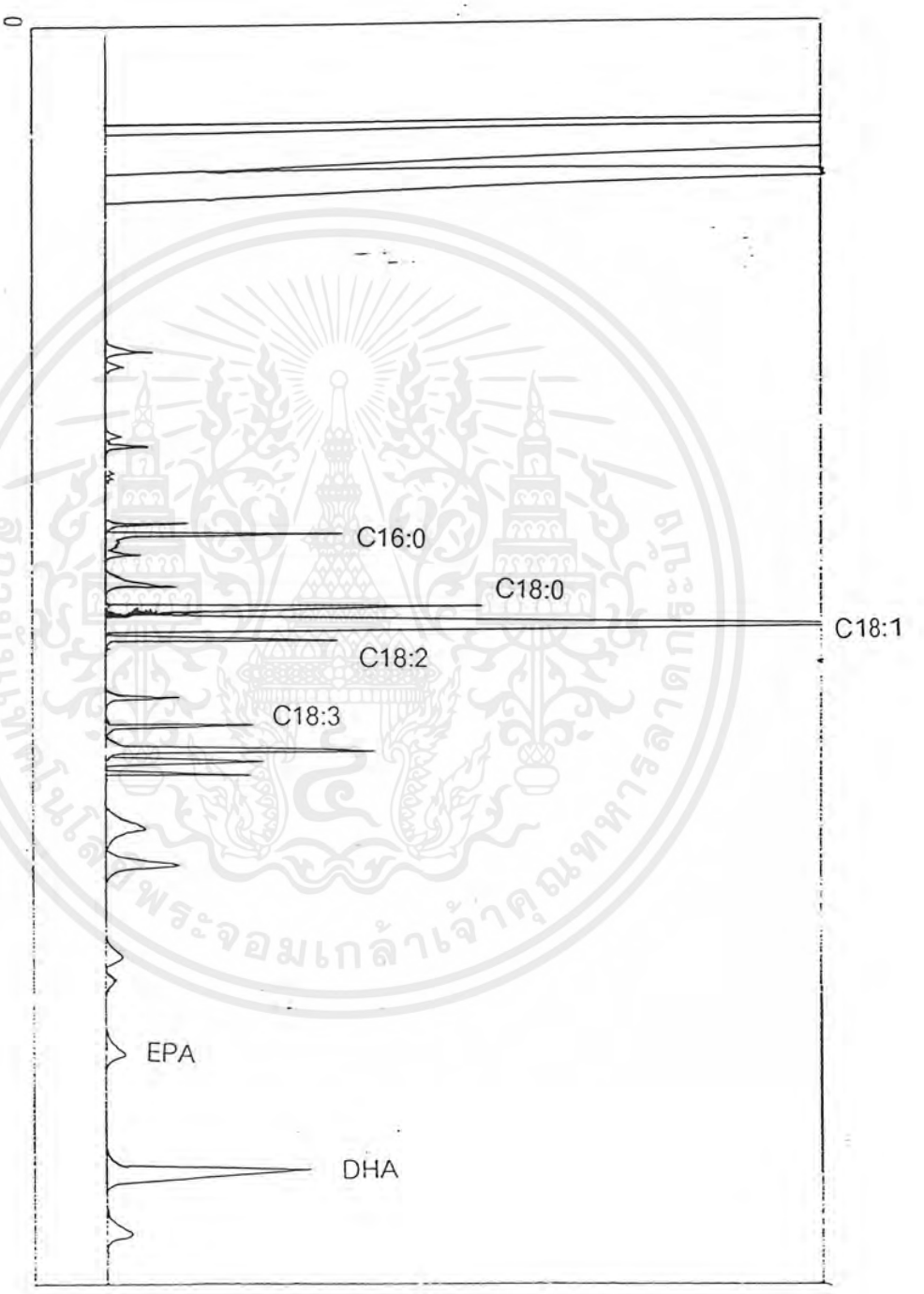
รูปที่ ก -1 โครมาโทแกรมของกรดไขมันมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



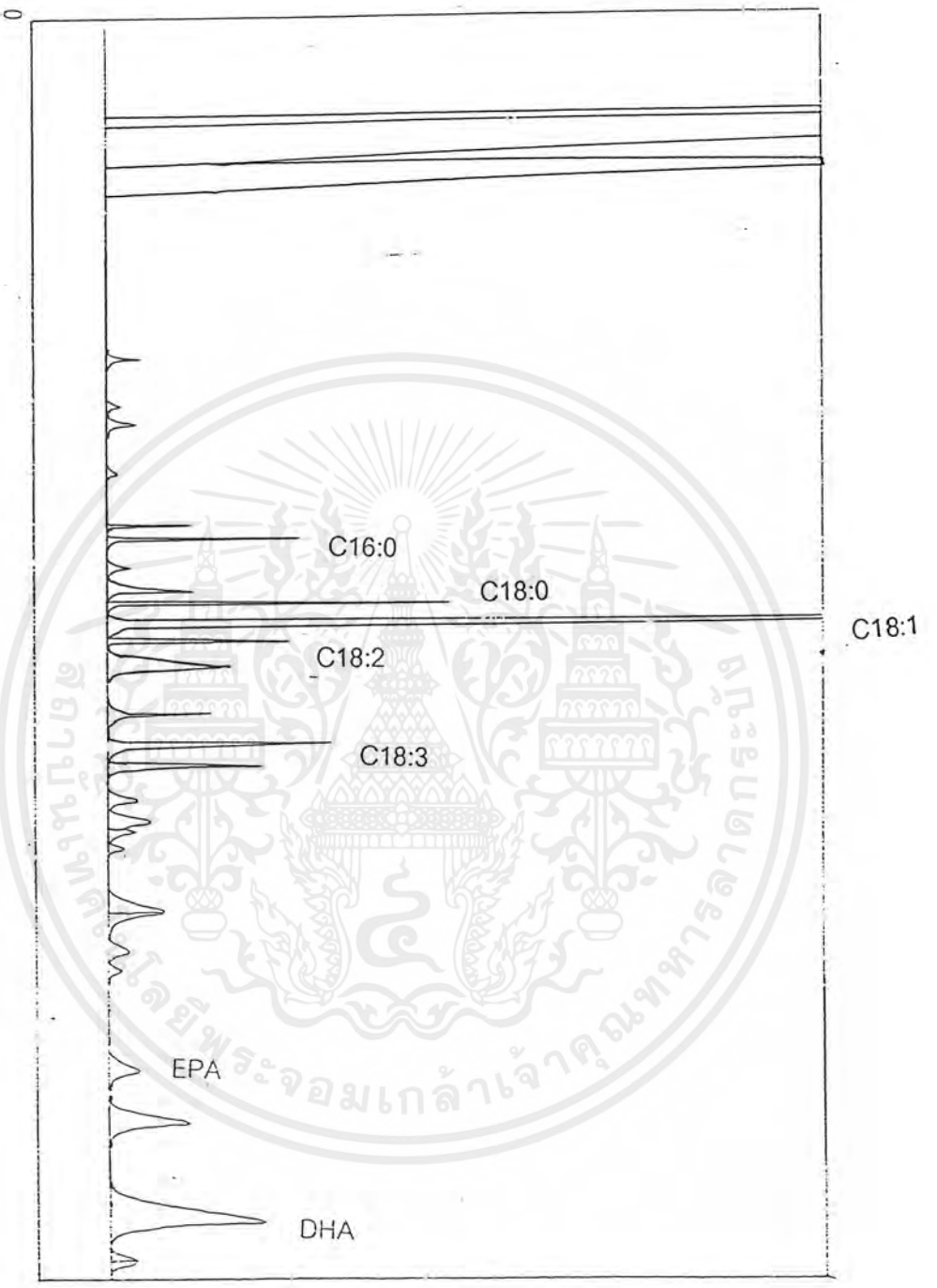
รูปที่ ก-2 โครมาโทแกรมของไขมันจากปลากะตัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 โครมาโทแกรมของไขมันจากกากเดือน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-4 โครมาโทแกรมของไขมันจากกากเดือน 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณกรดไขมัน

สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันได้จากการเปรียบเทียบพื้นที่ peak สัมพัทธ์ ระหว่าง peak ของกรดไขมันจากโครมาโตแกรมมาตรฐานกับ peak ของกรดไขมันจากน้ำมันตัวอย่าง

$$\text{พื้นที่ peak สัมพัทธ์ของกรดไขมัน X} = \frac{\text{พื้นที่ peak ของกรดไขมัน X}}{\text{พื้นที่ peak ของเบนซีน}}$$

<u>ตัวอย่างเช่น</u>

ในการวิเคราะห์หากรดไขมัน X ในตัวอย่างน้ำมันปลา ทำการฉีดสารมาตรฐานกรดไขมัน X 0.2 กรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 1 ไมโครลิตร เขาเครื่องแกสโครมาโตกราฟได้พื้นที่ peak 10 ตารางเซนติเมตร พื้นที่ peak ของเบนซีน 12 ตารางเซนติเมตร

$$\text{พื้นที่ peak สัมพัทธ์ของกรดไขมัน X มาตรฐาน} = \frac{10}{12}$$

$$= 0.85$$

1 มิลลิลิตร ของสารละลายกรดไขมัน X มีกรดไขมัน 0.2 กรัม

1 ไมโครลิตร ของสารละลายกรดไขมัน X มีกรดไขมัน 2×10^{-4} กรัม

เมื่อฉีดสารตัวอย่างกับเบนซีนได้พื้นที่ peak 8 ตารางเซนติเมตร และพื้นที่ peak ของเบนซีน 10 ตารางเซนติเมตร

ดังนั้น พื้นที่ peak สัมพัทธ์ของกรดไขมัน X $= \frac{8}{10} = 0.8$

ปริมาณกรดไขมัน X ในตัวอย่าง สามารถหาโดยการเปรียบเทียบพื้นที่ peak สัมพัทธ์

พื้นที่ peak สัมพัทธ์ 0.85 มีกรดไขมัน X $= 2 \times 10^{-4}$ กรัม

พื้นที่ peak สัมพัทธ์ 0.80 มีกรดไขมัน X $= \frac{2 \times 10^{-4} \times 0.80}{0.85}$

$$= 1.8 \times 10^{-4} \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองหาปริมาณน้ำมันดิบในน้ำหมัก ,น้ำปลา ,กาก และปลากะตักสด

วัตถุดิบ	R_1 (กรัมน้ำมัน / วัตถุดิบ 40 มิลลิลิตร)				R_2 (กรัมน้ำมัน / วัตถุดิบ 40 มิลลิลิตร)				เฉลี่ยทั้งหมด
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	
น้ำหมักเดือน 1	0.0031	0.0029	0.0024	0.0028	0.0025	0.0034	0.0022	0.0027	0.00275
น้ำหมักเดือน 3	0.0059	0.0053	0.0053	0.0055	0.0050	0.0074	0.0056	0.0060	0.00575
น้ำหมักเดือน 6	0.0018	0.0026	0.0022	0.0022	0.0027	0.0023	0.0025	0.0025	0.00235
น้ำหมักเดือน 9	0.0017	0.0012	0.0013	0.0014	0.0011	0.0006	0.0014	0.0010	0.00120
น้ำหมักเดือน 12	0.0007	0.0009	0.0014	0.0010	0.0017	0.0010	0.0009	0.0012	0.00110
น้ำปลา	0.0006	0.0012	0.0010	0.0009	0.0014	0.0008	0.0011	0.0011	0.00100

วัตถุดิบ	R_1 (กรัมน้ำมัน / 20 กรัมของวัตถุดิบแห้ง)				R_2 (กรัมน้ำมัน / 20 กรัมของวัตถุดิบแห้ง)				เฉลี่ยทั้งหมด
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	
กากเดือน 1	0.3404	0.3258	0.3571	0.3411	0.4402	0.4402	0.4350	0.4374	0.3892
กากเดือน 3	0.4214	0.4117	0.3618	0.3978	0.5377	0.5377	0.5362	0.5367	0.4672
กากเดือน 6	0.6140	0.5956	0.5970	0.6022	0.7580	0.6095	0.6927	0.6867	0.6444
กากเดือน 9	0.7996	0.8514	0.9789	0.8766	0.6782	0.6824	0.6800	0.6812	0.7789
กากเดือน 12	1.2857	1.2846	1.2954	1.2886	1.2528	1.2675	1.2910	1.2704	1.2795
ปลากะตัก	0.2972	0.5302	0.7352	0.5209	-	-	-	-	-

R1 = การทดลองครั้งที่ 1

R2 = การทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

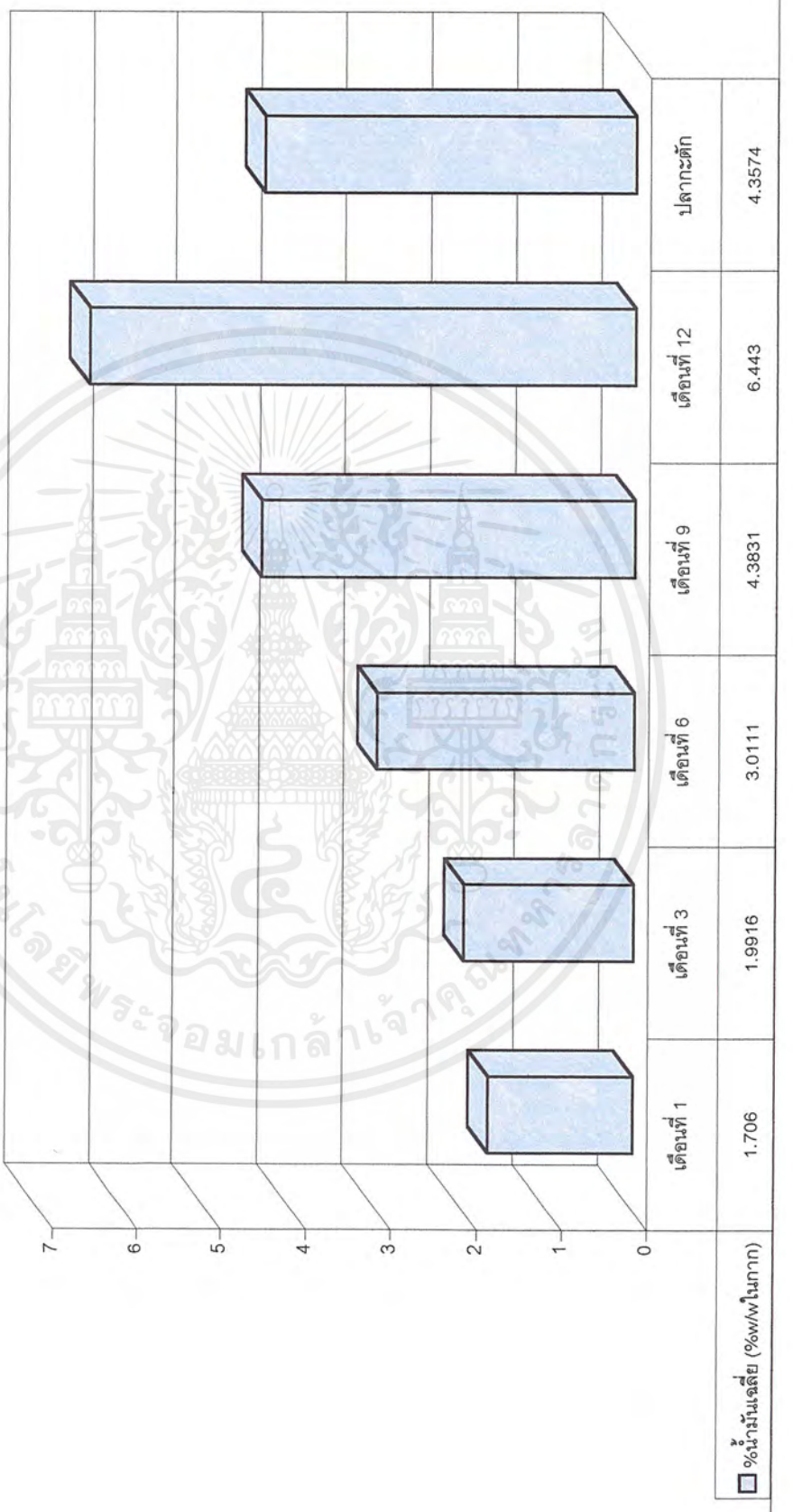
วัตถุดิบ	กรัมน้ำมัน / 100 มิลลิลิตรของวัตถุดิบ			
	1	2	3	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยโดยน้ำหนัก
น้ำหมักเดือน 1	0.0077	0.0072	0.0060	0.0070
น้ำหมักเดือน 3	0.0147	0.0132	0.0132	0.0137
น้ำหมักเดือน 6	0.0045	0.0065	0.0055	0.0055
น้ำหมักเดือน 9	0.0042	0.0030	0.0032	0.0035
น้ำหมักเดือน 12	0.0017	0.0022	0.0035	0.0025
น้ำปลา	0.0015	0.0030	0.0025	0.0023

วัตถุดิบ	กรัมน้ำมัน / 100 กรัมน้ำหนักวัตถุดิบแห้ง			
	1	2	3	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยโดยน้ำหนัก
กากเดือน 1	1.7021	1.6291	1.7858	1.7060
กากเดือน 3	2.1072	2.0587	1.8090	1.9916
กากเดือน 6	3.0702	2.9779	2.9852	3.0111
กากเดือน 9	3.9979	4.2569	4.8945	4.3831
กากเดือน 12	6.4286	6.4233	6.4771	6.4430
ปลากะตัก	2.4867	4.4355	6.1500	4.3574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

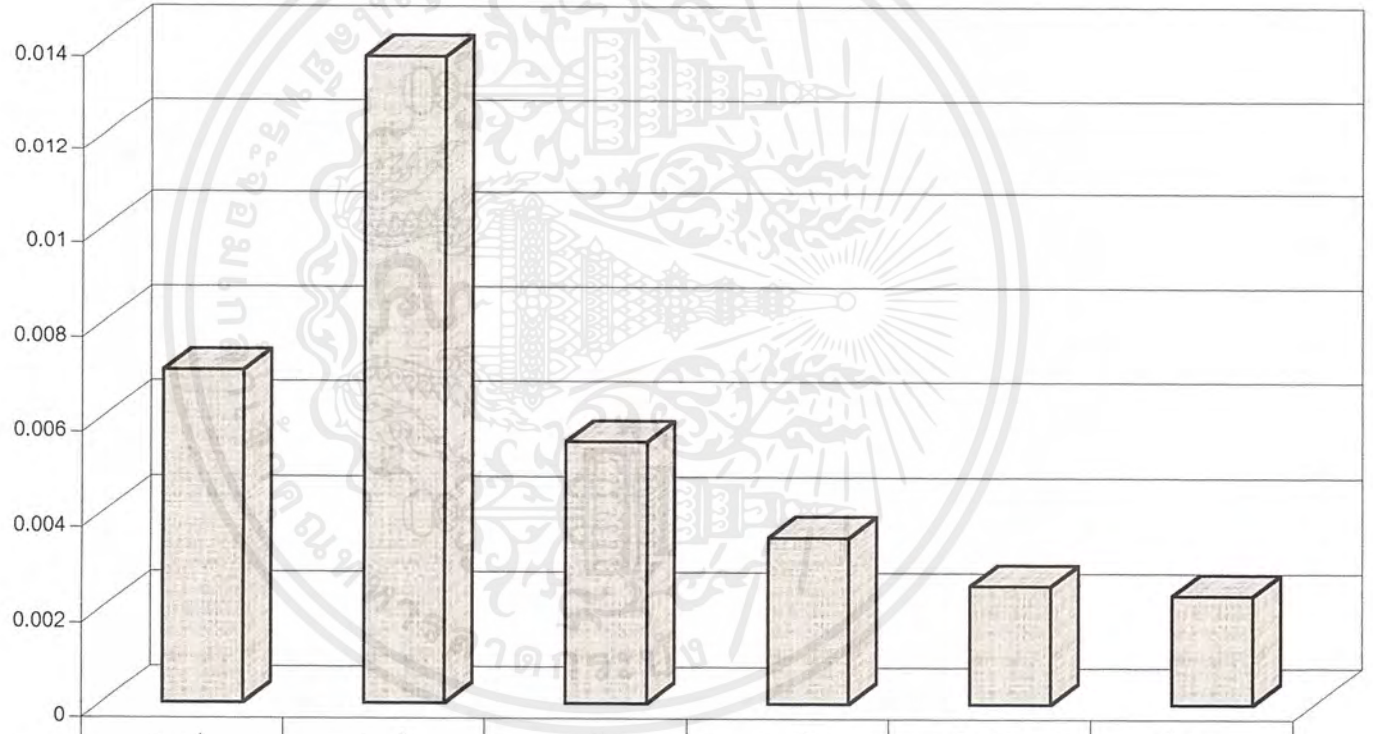
ภาคผนวก ง

รูปที่ ง-1 ความแตกต่างของปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในกากแต่ละเดือน
และปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในปลากะตัก



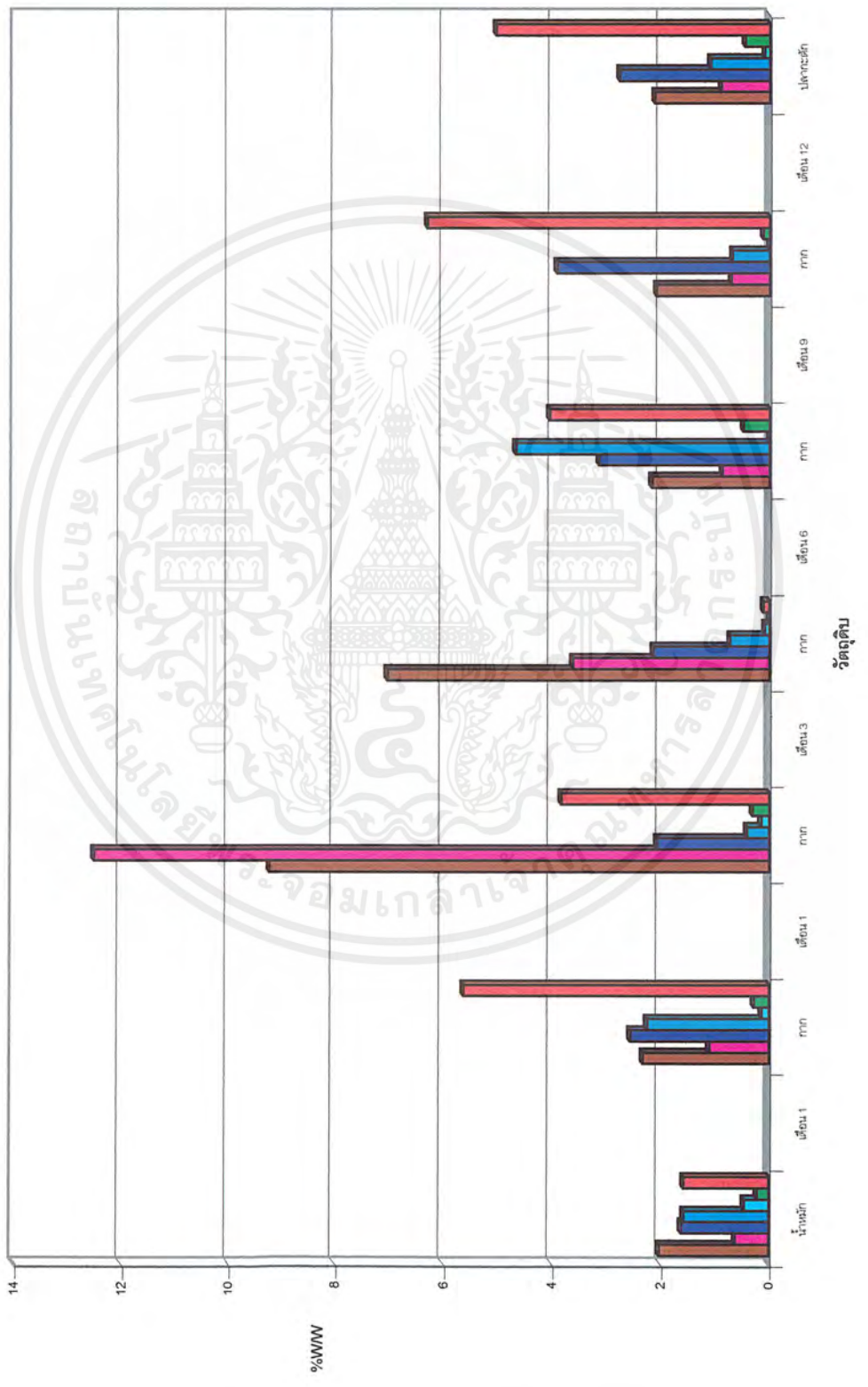
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

รูปที่ ง-2 ความแตกต่างของปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในน้ำหมักแต่ละเดือน และปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในน้ำปลา

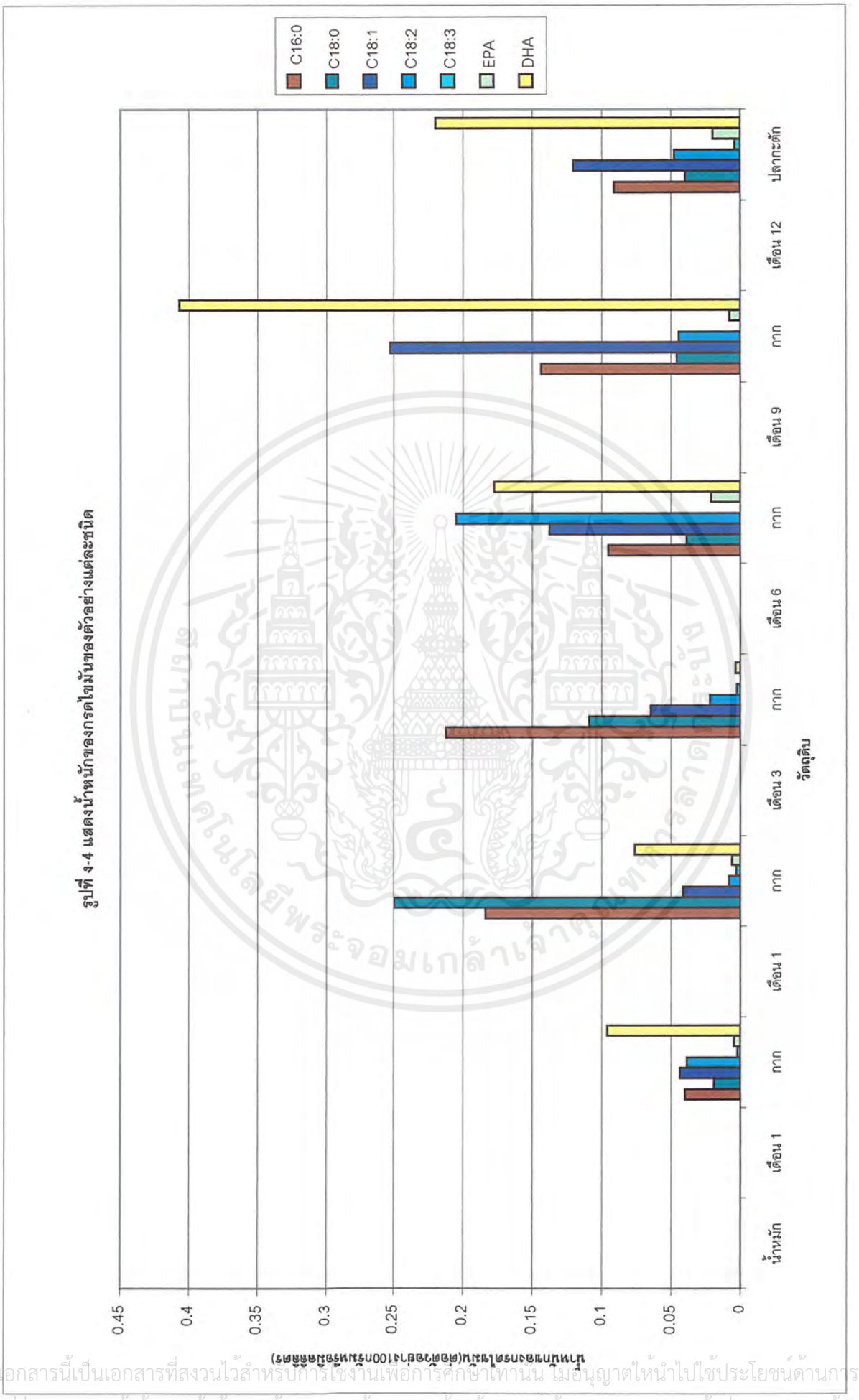


	เดือนที่ 1	เดือนที่ 3	เดือนที่ 6	เดือนที่ 9	เดือนที่ 12	น้ำปลา
%น้ำมันเฉลี่ย (%w/vในน้ำหมัก)	0.007	0.0137	0.0055	0.0035	0.0025	0.0023

รูปที่ ง-3 แสดงเปอร์เซนต์ของกรดไขมันแต่ละชนิดในวัตถุดิบ



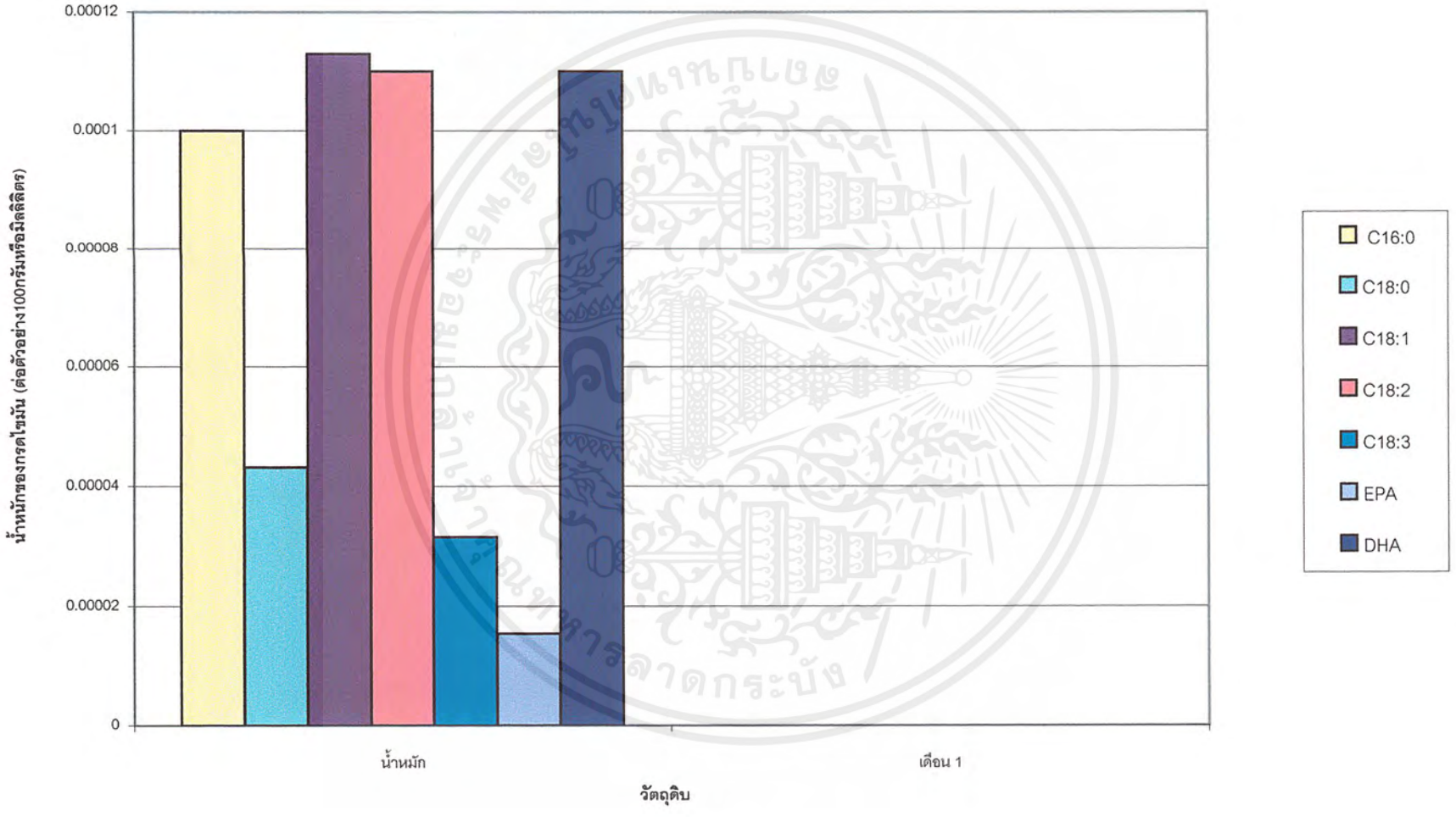
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-4 แสดงน้ำหนักของกรดไขมันของตัวอย่างแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง-5 แสดงน้ำหนักของกรดไขมันของน้ำหมักเดือน 1



รายการอ้างอิง

1. กุลวดี กระจ่างลิขิต. การเพิ่มความเข้มข้นของ EPA และ DHA ในน้ำมันปลาโดยการเลือกสกัดด้วยตัวทำละลายและการตกผลึกลำดับส่วน [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ]. กรุงเทพฯ: คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2537.
2. คณิต กฤษณังกูร. การสกัดและการแยกลิปิด. การประชุมปฏิบัติการภาคฤดูร้อนสาขาชีวเคมี ครั้งที่ 19 เรื่อง ลิปิด : ชีวเคมี เทคโนโลยีชีวภาพ; 2-4 พฤษภาคม 2537. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2537.
3. ครรชิต จุดประสงค์. คุณค่าทางโภชนาการในปลาที่นิยมบริโภค: สารอาหารหลัก กรดไขมัน และโคเลสเตอรอล [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล; 2539.
4. ครรชิต จุดประสงค์. แร่ธาตุปริมาณน้อยในปลาที่นิยมบริโภค. วารสารอาหาร 2540; 27 (3): 192-201.
5. ด้วง พุธศุกร์. ไขมันและเคมีภัณฑ์จากไขมัน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2534.
6. บริษัท ที.ซี. ยูเนี่ยนฟู้ดส์ จำกัด. กรดไขมันจำเป็น ดีเอชเอ-โอเมก้า 3. ฉบับพิเศษ ประชาชาติธุรกิจ.
7. บริษัทน้ำปลาพิไชย จำกัด, น้ำปลาและขั้นตอนการผลิตน้ำปลา (data sheet); 2542
8. บังอร ณ พัทลุง. ลิปิดและไลโปโปรตีน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2536.
9. ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. ชนิดของกรดไขมันของน้ำมันปรุงอาหาร,มาร์การีน และปลา [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโภชนศาสตร์]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล; 2529.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ประหยัด โกมารทัต. ลิปิด : โครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติทั่วไป. การประชุมปฏิบัติการภาคฤดูร้อนสาขาชีวเคมี ครั้งที่ 19 เรื่อง ลิปิด : ชีวเคมี เทคโนโลยีชีวภาพ; 2-4 พฤษภาคม 2537. กรุงเทพฯ:

11. มนตรี จุฬาวัฒนทล, ยงยุทธ ยุทธวงศ์, ชิษณุสรรค์ สวัสดิวัฒน์, และคณะ. ชีวเคมี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2530.

12. มะลิ ผุสพานิช. การหาแหล่งของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของ EPA และ DHA ในน้ำมันปลาทูน่า [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ]. กรุงเทพฯ: คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2538.

13. ยงยุทธ ยุทธวงศ์. เทคโนโลยีชีวภาพของลิปิดจากแง่ของชีวเคมี. การประชุมปฏิบัติการภาคฤดูร้อนสาขาชีวเคมี ครั้งที่ 19 เรื่อง ลิปิด : ชีวเคมี เทคโนโลยีชีวภาพ; 2-4 พฤษภาคม 2537. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2537.

14. รัศมี ศุภศรี. ไขมันและบทบาทของ Omega-3 fatty acid กับการอุดตันของหลอดเลือด. วารสารอาหาร 2536; 23(4): 242-54.

15. ลินจง สุขลำภู. ส่วนประกอบทางเคมีและการจำแนกประเภทของลิปิด. อัดสำเนา. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2542.

16. วิภา ชีพสัจญาณ. การใช้เอนไซม์ไลเปสจากพืชในการเพิ่มความเข้มข้นของ EPA และ DHA ของน้ำมันปลาทูน่า [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ]. กรุงเทพฯ: คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2540.

17. สมพงศ์ สหพงศ์. น้ำมันปลา น้ำมันลดไขมัน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์รวมทรรศน์; 2536. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2542.

18. อริชัย ก่อกิจ, คณิต กฤษณังกูร และนฤมล จียโชค. การศึกษาปริมาณ DHA และ EPA ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. อาภัสรา ชมิดท์. ชีวเคมี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2537.

20. A changing for fish oils. Journal of oil & fat international 1992; Issue 5: 20-21.

21. Ackman RG. Nutritional evaluation of long-chain fatty acid in fish oil. London: Academic Press; 1982.

22. AOCS. 1986. Official and tentative methods of the American Oil Chemists' Society.Vol.1.3 ^{d}ed., Champaign, Ilinoid.

23. Andrade AD, Rubira AF, Matsushita M, Souza NE. ω3 Fatty acids in freshwater fish from South Brazil. Journal of the American Oil Chemists' Society 1995; 72: 1207-10.

24. Audley MA, Sheety KJ, Kingsella JE. Isolation and properties of phospholipase A from pollock muscle. Journal of Food Science 1987; 43: 1771-5.

25. Boswell KDB, Gladue R, Prima B, Kyle DJ. SCO Production of fermentative microalgae. In: Kyle DJ, Ratledge C. Industrials application of single cell oil. Illinois: American Oil Chemists' Society; 1992. p. 274-86.

26. Cohen Z, Cohen S. Preparation of eicosapentaenoic acid (EPA) concentrate from Porphyridium cruentum. Journal of the American Oil Chemists' Society 1991; 68: 16-9.

27. Cohen Z. Production potential of eicosapentaenoic acid by *Monodus subterraneus*. Journal of the American Oil Chemists' Society 1994; 71: 941-5.

28. Davis L, Goodwin L, Smith G, Hole M. Lipid oxidation in salted-dried fish : the effect of temperature and light on the rate of a fish oil. Journal of Science Food Agriculture 1993; 62: 355-9.

29. Gunstone FD, Harwood JL, Padley FB. The lipid handbook. London: Chapman & Hall: 1986.

30. Hwang KT, Regenstein JM. Characteristic of mackerel mince lipid hydrolysis. Journal of Food Science 1993; 58(1): 79-83.

31. Jham GN,Teles FFE, Campos LG. Use of aqueous HCl / MeOH as esterification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reagent for analyses of fatty acids derived from soy lipids. Journal of American Oil Chemists' Society; 59(3): 132-133.

32. Kaitaranta JK. Control of lipid oxidation in fish oil with various antioxidative compounds. Journal of the American Oil Chemists' Society 1992; 69: 810-3.

33. Karahadian C, Lindsay RC. Composition of n-3 oils from Great Lakes fresh water fish. Journal of Food Composition Analysis 1989; 2(1): 13-21.

34. Kyle JD, Sicotte VJ, Singer JJ, Reeb SE. Bioproduction of Docosahexaenoic acid (DHA) bymicroalgae. In: Kyle JD, Ratledge C. Industrials application of single cell oil. Illinois: American Oil Chemists' Society; 1992. p.287-300.

35. Liu Y, Sun M, Zhang S, Mu Z, Xi S, Zhou Y, et al. Effect of fish oil rich in eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on platelet aggregation,coagulation time, and tissue fatty acid compositions in rabbits. Ying Yang Xuebao 1988; 10(4): 341-7.

36. Meyer BJ, Tsivis E, Howe PRC, Tapsell L, Calvert GD. Polyunsaturated fatty acid content of foods: differentiating between long and short chain omega-3 fatty acids. Journal of Food Australia 1999; 51(3): 81-95.

37. Miyazawa T, Kashima M, Fujimoto K. Fluorometric peroxygenase assay for lipid hydroperoxides in meats and fish. Journal of Food Science 1993; 58(1): 66-70.

38. Morris RJ, Culkin F. Marine biogenic lipids, fats and oils. London: Boca Raton Press; 1989.

39. O' Brien DJ, Gerard ES. Recovery of eicosapentaenoic acid from fungal mycelia by solvent extraction. Journal of the American Oil Chemists' Society 1994; 71: 947-50.

40. Raffaele S, edina I, Aubourg SP, Addeo F, Paoliiio L. Proton nuclear magnetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

resonance rapid and structure-specific determination of ω-3 polyunsaturated fatty acid in fish lipids. Journal of the American Oil Chemists' Society 1993; 70: 225-8.

41. Ratnayaki W, Ackman RG, Hulan HW. Effect of redfish meal enriched diets on the taste and
n-3 PUFA of 42-day-old broiler chickens. Journal of Science Food Agriculture 1989; 49(1): 59-74.

42. Seto A, Kumasaka K, Hosaka M, Kojima E, Kashiwakura M, Kato T. Production of eicosapentaenoic acid by a marine microalgae and its commercial utilization for aquaculture. In: Kyle DJ, Ratledge C. Industrials application of single cell oil. Illinois: American Oil Chemists' Society; 1992. p. 219-34.

43. Shimisu S, Shinmen Y, Kawashima H, Akimoto K, Yamada H. Fungal mycelia as a novel source of eicosapentaenoic acid production at low temperature. Journal of Biochemical and Biophysical Research Communications 1988; 150(1): 335-41.

44. Shimizu S, Kawashima H, Shinmen Y, Akimoto K, Yamada H. Production of eicosapentaenoic acid by *Mortierella* fungi. Journal of the American Oil Chemists' Society 1988; 65: 1455-9.

45. Shimisu S, Kawashima H, Shinmen Y, Yamada H. Microbial conversion of an oil containing α-linolenic acid to an oil containing eicosapentaenoic acid. Journal of the American Oil Chemists' Society 1989; 66: 342-7.

46. Shimisu S, Kawashima H, Akimoto H, Akimoto K, Shinmen Y, Yamada H. Conversion of linseed oil to an eicosapentaenoic acid containing oil by *Mortierella alpina* 1S-4 at low temperature. Journal of Applied Microbiology Biotechnology 1989; 32(1): 1-4.

47. Shinmen Y, Kawashima H, Shimizu S. Concentration of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in an arachidonic acid-producing fungus, *Mortierella alpina*1S-4, grown with fish oil. Journal of Applied Microbiology & Biotechnology 1992; 38: 301-4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้