ผลของกรดลิโนลีนิคและกรดลิโนลีอิคต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของกรดไขมัน และการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยาในปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

Effects of Linolenic Acid and Linoleic Acid on Growth, Fatty Acid Composition and Histological Changes in Green Catfish (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

มายมูเน๊าะ มิดคาดี

Maimunoh Midcadee

เลขหมู่ SH167.G7 M61 2544 ก.2
Bib Key 207774
6 ส.ค. 2544

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวารีชศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Aquatic Science

Prince of Songkla University

2544

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของกรดลิโนลีนิคและกรดลิโนลีอิคต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของกรดไขมัน และการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยาในปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

ผู้เขียน นางสาวมายมูเน๊าะ มิดคาดี

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพร พรหมขุนทอง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กิจการ ศุภมาตย์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพร พรหมขุนทอง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กิจการ ศุภมาตย์)

.....กรรมการ
(ดร. วิไลวรรณ เจริญคุณานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาพร อุทารพันธุ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ ทฤษฎิคุณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของกรดลิโนลีนิคและกรดลิโนลีอิคต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของกรดไขมัน และการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยาในปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)

ผู้เขียน นางสาวมายมูเน๊าะ มิดคาดี

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

ปีการศึกษา 2543

ฉลองสมุด คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่
ได้รับมอบ
บัณฑิตวิทยาลัย ๒๐
วันที่ ๑ เดือน ๑ มี.ค. ๒๕๔๔

บทคัดย่อ

ทดลองเลี้ยงปลากดหลือง (*Mystus nemurus*) น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นตัวละ 4.0 – 4.6 กรัม ในตู้กระจกความจุน้ำ 200 ลิตร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ แบ่งการทดลองเป็น 7 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยชุดการทดลองที่ 1 ไม่เสริมกรดไขมันใดๆ ชุดการทดลองที่ 2 เสริมกรดสเตียริค (stearic acid, 18:0) เพียงอย่างเดียว 6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน ชุดการทดลองที่ 3 เสริมกรดลิโนลีอิค (linoleic acid, 18:2ω-6) 1 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 4 เสริมกรดลิโนลีอิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 5 เสริมกรดลิโนลีนิค (linolenic acid, 18:3ω-3) 1 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 6 เสริมกรดลิโนลีนิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 7 เสริมกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองปรากฏว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิคในทุกชุดการทดลอง (ชุดการทดลองที่ 3, 4 และ 7) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหารสูงกว่าปลาในชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ (ชุดการทดลองที่ 6) ให้ผลรองลงมา ปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดไขมัน (ชุดการทดลองที่ 1) เสริมกรดสเตียริค (ชุดการทดลองที่ 2) และเสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ (ชุดการทดลองที่ 5) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหารอยู่ในเกณฑ์ต่ำที่สุด ปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิคและ/หรือกรดลิโนลีนิคทุกชุดการทดลอง (ชุดการทดลองที่ 3 ถึง 7) ค่าดัชนีตับต่อตัวมีแนวโน้มลดลง ขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และอัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทุกชุดการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกัน องค์ประกอบของไขมันจากปลาทั้งตัวมีค่าสูงในปลาที่รับอาหาร

เสริมกรดลิโนลีนิคและ/หรือกรดลิโนลีอิค (ชุดการทดลองที่ 3 ถึง 7) และมีค่าต่ำกว่าในปลาที่รับอาหารไม่เสริมกรดไขมัน (ชุดการทดลองที่ 1) และเสริมกรดสเตียริค (ชุดการทดลองที่ 2) ปริมาณเถ้าทั้งจากปลาทั้งตัวและจากเนื้อปลา มีค่าสูงในปลาที่รับอาหารไม่เสริมกรดไขมัน (ชุดการทดลองที่ 1) และเสริมกรดสเตียริค (ชุดการทดลองที่ 2) ค่าองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ ความชื้น และโปรตีน ไม่มีความสัมพันธ์กับการเสริมกรดไขมันแต่ละชนิดทั้งจากปลาทั้งตัวและจากเนื้อปลา และจากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตับปลาพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง แต่จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในตับปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดไขมันหรือเสริมกรดไขมันต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ ผลการศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยาของตับปลาพบพยาธิสภาพในปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดไขมัน (ชุดการทดลองที่ 1) และที่ได้รับอาหารเสริมกรดสเตียริค (ชุดการทดลองที่ 2) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารในชุดการทดลองอื่นๆพบว่ามีการสะสมของแวคิวโอลในเซลล์ตับอยู่บ้าง

Thesis Title	Effects of Linolenic Acid and Linoleic Acid on Growth, Fatty Acid Composition and Histological Changes in Green Catfish (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)
Author	Miss Maimunoh Midcadee
Major Program	Aquatic Science
Academic Year	2000

Abstract

Green catfish fingerlings (*Mystus nemurus*) of initial average weight 4.0 - 4.6 g were experimented to determine the effects of linoleic and linolenic acids supplemented in their feeds at various concentrations. The 10-week experiment was performed in 200-l glass tanks in which seven treatments with three replicates each were conducted. In the treatment 1, the feed was without fatty acid supplementation, treatment 2 was the feed with 6% stearic acid (18:0) as energy source, treatment 3 with 1% linoleic acid (18:2ω-6) supplementation, treatment 4 with 0.5% linoleic acid supplementation, treatment 5 with 1% linolenic acid (18:3ω-3) supplementation, treatment 6 with 0.5% supplemented linolenic acid, treatment 7 with supplemented 0.5% linoleic and linolenic acid each. Results showed that the fish fed the feeds with supplemented linoleic acid (treatment 3, 4 and 7) had higher average body weight, weight gain, specific growth rate and rate of feed intake as compared to those without linoleic acid supplemented in their feeds. The second best growth increment was obtained with the treatment with supplemented 0.5% linolenic acid (treatment 6). The fish given the feed without fatty acid supplementation (treatment 1), with supplemented stearic acid (treatment 2), and with supplemented 1% linolenic acid (treatment 5) had lowest average body weight, weight gain, specific growth rate and rate of feed intake. The fish fed the feeds with supplemented linoleic and/or linolenic acid (treatment 3 to 7) had low hepatosomatic index. There were no differences in their FCR, PER, ANPU and survival. The analysis of whole body composition showed that the fatty

acid contents were higher in those given linoleic and/or linolenic acids supplemented in their feeds (treatment 3 to 7) as compared to those without fatty acid supplementation (treatment 1) and with stearic acid supplementation (treatment 2), the ash content in the whole body and in the fish flesh were higher in those given without fatty acid supplementation (treatment 1) and with stearic acid supplementation (treatment 2) whereas other chemical compositions, i.e. moisture and protein contents in the whole body as well as in the fish flesh had no correlation with the levels of supplemented fatty acid. The analysis of total lipid in liver showed no difference among treatments. However, there existed qualitative as well as quantitative differences in the composition of fatty acid in the liver of the fish given the feeds supplemented with different fatty acids and those without fatty acid supplementation. The histological study of the liver showed pathological changes in those given the feed without fatty acid supplementation (treatment 1) and those with stearic acid supplementation (treatment 2) while those in other treatments showed the presence of vacuoles in hepatic cells.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายที่ควรค่าแก่การกล่าวถึงด้วยความรู้สึกขอบคุณและยกย่องไว้ ณ ที่นี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพร พรหมขุนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในระหว่างการทดลองวิจัยและแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. กิจการ ศุภมาตย์ กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางและแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ดร. วิไลวรรณ เจริญคุณานนท์ กรรมการผู้แทนภาควิชาวาริชศาสตร์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ประภาพร อุทารพันธุ์ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย และขอขอบพระคุณวิทยาลัยประมงติณสูลานนท์ที่ให้โอกาสและสนับสนุนข้าพเจ้ามาศึกษาต่อในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวาริชศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและสารเคมี คุณรังสัญ รักกมล ที่ช่วยเหลือในการศึกษาทางเนื้อเยื่อ คุณสุภฎา คีรีรัฐนิคม ที่ให้คำแนะนำเทคนิคในการทำวิจัย นักศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโทภาควิชาวาริชศาสตร์อีกหลายท่านที่มิได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ ซึ่งคอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา

มายมูเน๊าะ มิดคาดี

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการตารางผนวก	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
1. ปลากดเหลือง	3
2. คุณสมบัติของกรดไขมัน	4
3. กรดไขมันจำเป็น	11
4. ความสำคัญของกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิค	11
5. ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาชนิดต่างๆ	15
วัตถุประสงค์	26
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	27
วัสดุ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	29

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
3. ผลการทดลอง	37
1. การตรวจสอบลักษณะที่แสดงออกภายนอก	37
2. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ค่าดัชนีตับต่อตัว อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ	37
3. องค์ประกอบทางเคมีของปลา	45
4. การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในตัวปลา	49
5. การศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยา	51
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	56
5. สรุปผลการทดลอง	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	75
ประวัติผู้เขียน	94

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. กรดไขมันอิ่มตัวหลายชนิดที่พบโดยทั่วไป	6
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายชนิดที่พบโดยทั่วไป	7
3. ปริมาณของกรดไขมัน (มิลลิโมลต่อโมล) ของไขมันบางชนิด	8
4. องค์ประกอบกรดไขมันในปลาน้ำเค็มบางชนิด	17
5. องค์ประกอบกรดไขมันในปลาน้ำจืดบางชนิด	18
6. องค์ประกอบกรดไขมันเฉลี่ยในเนื้อเยื่อปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็มบางชนิด	20
7. ส่วนประกอบอาหารทดลองแต่ละสูตร	31
8. ส่วนประกอบของกรดไขมันในอาหารทดลองแต่ละสูตร	32
9. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม) ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 10 สัปดาห์	39
10. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และค่าดัชนีตับต่อตัว ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์	42
11. อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (ANPU) และอัตราการรอดตาย ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 10 สัปดาห์	44
12. องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 10 สัปดาห์	46
13. องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 10 สัปดาห์	47
14. ปริมาณไขมันในตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 10 สัปดาห์	48
15. องค์ประกอบกรดไขมันในตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 10 สัปดาห์	50

รายการตารางผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
ข.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	87
ข.2 องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารทดลองสูตรต่างๆ	88
ข.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลือง ที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์	89
ข.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์	90
ข.5 น้ำหนักอาหาร (กรัม) ที่ปลากินเฉลี่ยต่อตัว ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์	91
ข.6 อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์	92
ข.7 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์	93

รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1. ขั้นตอนการเพิ่มคาร์บอน และพันธะคู่ของกรดไขมัน	13
2. การเจริญเติบโตของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์	40
3. เซลล์ตับมีรูปร่างผิดปกติ บางเซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม (หัวลูกศรชี้) และพบกรานูลในไซโตพลาสซึมของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมัน (สูตรที่ 1) (Hematoxylin & Eosin)	52
4. การเกิดช่องว่าง (v) ในเนื้อเยื่อตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมัน (สูตรที่ 1) (Hematoxylin & Eosin)	52
5. เซลล์ตับจำนวนมากมีรูปร่างค่อนข้างกลม (หัวลูกศรชี้) และพบช่องว่าง (v) ภายในไซโตพลาสซึมของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมันจำเป็น (สูตรที่ 2) (Hematoxylin & Eosin)	53
6. เซลล์ตับมีการเสื่อมสลาย (หัวลูกศรชี้) และพบการรวมตัวของเซลล์หลายเซลล์จนเกิดลักษณะของ multinuclei (n) พบในปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมันจำเป็น (สูตรที่ 2) (Hematoxylin & Eosin)	53
7. เซลล์ตับบริเวณที่ปกติของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3 และ 4) (Hematoxylin & Eosin)	54
8. การเกิดช่องว่าง (v) ในเนื้อเยื่อบางส่วนของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3 และ 4) (Hematoxylin & Eosin)	54
9. ไขมันแทรกในเนื้อเยื่อตับ (หัวลูกศรชี้) ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิคที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 5) (Hematoxylin & Eosin)	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
10. การเกิดช่องว่าง (v) ในเนื้อเยื่อบางส่วนของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลือง ที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิคที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 6) และเสริมกรดลิโนลีอิคกับกรดลิโนลีนิคอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 7) (Hematoxylin & Eosin)	55

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ไขมันเป็นสารอาหารหลักสำหรับสัตว์น้ำ ที่ให้พลังงานมากที่สุด และเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเนื้อเยื่อเซลล์ และเป็นสารต้นกำเนิดของฮอร์โมนที่สำคัญหลายชนิด (Alava and Kanazawa, 1996) ปลาไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันจำเป็นได้จึงต้องได้รับจากอาหารโดยตรง กรดไขมันจำเป็นเป็นกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา-3 (Ω-3) ซึ่งมีมากในน้ำมันปลาทุกชนิด และกลุ่มโอเมกา-6 (Ω-6) ซึ่งมีมากในน้ำมันพืช (ยกเว้นในน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม) สำหรับสัตว์น้ำกรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกายได้แก่ กรดลิโนลีอิค (linoleic acid, 18:2Ω-6) และกรดลิโนลีนิค (linolenic acid, 18:3Ω-3) ปลาที่ไม่ได้รับกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวจะแสดงอาการขาดกรดไขมันให้เห็นคือ มีการเจริญเติบโตช้าลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูงขึ้น เบื่ออาหาร มีอาการผิดปกติของอวัยวะบางอย่าง หรือมีอัตราการตายสูง และในปลาบางชนิดอาจมีอาการช็อค ส่วนปลาที่ได้รับกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวมากเกินไปก็จะมีการเจริญเติบโตช้าลงและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน (Sargent *et al.*, 1989)

ปลาแต่ละชนิดต้องการกรดไขมันจำเป็นทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อการเจริญเติบโตและการใช้อาหารอย่างมีประสิทธิภาพ Watanabe (1993 อ้างโดย Castell *et al.*, 1994) รายงานว่าปลาทะเลส่วนใหญ่ต้องการกรดไขมันจำเป็นในกลุ่มโอเมกา-3 ที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอมขึ้นไป (highly unsaturated fatty acid, Ω3-HUFA) ส่วนปลาน้ำจืดหรือปลา 2 น้ำทั้งกลุ่ม anadromous และ catadromous ต้องการกรดไขมันจำเป็นที่มีจำนวนคาร์บอนเพียง 18 อะตอม (polyunsaturated fatty acid, PUFA) ซึ่งอาจจะเป็นกรดไขมันจำเป็นในกลุ่มโอเมกา-3 หรือกลุ่มโอเมกา-6 ขึ้นกับชนิดของปลา โดยที่ปลาบางชนิดต้องการกรดไขมันจำเป็นทั้งกลุ่มโอเมกา-3 และกลุ่มโอเมกา-6 แต่ปลาบางชนิดต้องการกรดไขมันจำเป็นเพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง (Sargent *et al.*, 1989) Stickney และ Andrew (1972) รายงานว่าปลากดอเมริกัน (channel catfish, *Ictalurus punctatus*) ต้องการกรดไขมันจำเป็นที่

มีความไม่อิ่มตัวสูงและมีสัดส่วนของกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิค (eicosapentaenoic acid หรือ EPA, 20:5ω-3) ต่อกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิค (docosahexaenoic acid หรือ DHA, 22:6ω-3) ในอาหารสูง ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดี อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและองค์ประกอบไขมันในตัวปลามีค่าต่ำ และจากรายงานของ NRC (1983) รายงานว่าปลาชนิดนี้ต้องการกรดไขมันจำเป็นทั้งกลุ่มโอเมกา-3 และกลุ่มโอเมกา-6 ในปริมาณ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาดุกลูกผสม (hybrid clarias catfish, *Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) ต้องการกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมกา-3 และกลุ่มโอเมกา-6 อยู่ในช่วง 1.0 - 1.6 เปอร์เซ็นต์ และ 0.8 – 0.9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหารตามลำดับ (วิมล และพิศมัย, 2538)

ปลากดเหลืองซึ่งเป็นปลาน้ำจืดที่นิยมของผู้บริโภคทั้งตลาดภายในและภายนอกประเทศ มีการทดลองเกี่ยวกับสารอาหารต่างๆในปลาชนิดนี้ ดังรายงานของ วุฒิพร และคณะ (2541) ที่ศึกษาผลของไขมันที่ระดับต่างๆต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองขนาด 2 นิ้ว ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักเฉลี่ย และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีระดับไขมัน 13 – 25 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับไขมัน 22 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีไขมันที่ระดับอื่นๆ แต่ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของกรดไขมันจำเป็นในอาหาร หรือความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาชนิดนี้ยังไม่เคยมีการรายงานที่ใดมาก่อน ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงต้องการศึกษาผลของกรดลิโนลีนิคและกรดลิโนลีอิคซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อ รวมทั้งองค์ประกอบของกรดไขมันในตัวปลา ประโยชน์ของผลที่ได้รับจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลากดเหลืองในเชิงพานิชย์ต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ปลากดเหลือง

อนุกรมวิธานของปลากดเหลืองจัดจำแนกโดย Smith (1965) ดังนี้

Class Pisces

Subclass Teleostomi

Order Nematognathi

Family Bagridae

Genus *Mystus*

Species *nemurus* (Cuv. & Val.)

Common name : green catfish, yellow mystus, freshwater catfish

ปลากดเหลือง จัดเป็นปลากระดูกแข็งน้ำจืดที่ไม่มีเกล็ด ลำตัวมีลักษณะกลมยาว หัวค่อนข้างแบนเรียวเป็นรูปกระสวย (conical) กระดูกท้ายทอยยาวถึงโคนครีบหลัง ตาไม่มีหนังปกคลุม ปากกว้าง ตำแหน่งของปากตั้งอยู่ต่ำเล็กน้อย ขากรรไกรแข็งแรง มีฟันซี่เล็กๆเป็นกลุ่มหรือเป็นแผ่น (pad) ปลายแหลมแบบ cardiform อยู่บนขากรรไกรบน ขากรรไกรล่าง และเพดานปาก (vormer) ซี่กรอง (gill rakers) สั้นเล็กปลายแหลมจำนวน 15 ซี่ มีหนวด 4 คู่คือ บริเวณจมูก (nasal barbels) ขากรรไกรบน (maxillary barbels) ขากรรไกรล่าง (mandibulary barbels) และหนวดที่คาง (mental barbels) อย่างละ 1 คู่ ครีบหลังไม่สูง เป็นครีบเดี่ยวอยู่กลางหลังประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 1 ก้าน และก้านครีบอ่อน 7 ก้าน ครีบไขมัน (adipose fin) เจริญดีอยู่บนส่วนหลังค่อนไปส่วนท้ายของลำตัว ตำแหน่งตรงข้ามกับครีบก้น ครีบก้นมีก้านครีบอ่อน 10 – 11 ก้าน ครีบหูเป็นครีบคู่มีเงี่ยงแข็งและแหลมคม 1 คู่ และมีก้านครีบอ่อนข้างละ 9 ก้าน ครีบท้องประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 6 – 7 ก้าน ครีบหางเว้าลึกแฉกบนยาวกว่าแฉกล่างประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 16 – 17 ก้าน ลำตัวมีสีน้ำตาลปนเหลืองด้านหลังมีสีน้ำตาลปนเขียวท้องสีเหลืองอ่อน (โยธิน และรังสิต, 2524) ลักษณะของสีจะเปลี่ยนแปลงตามอายุ ขนาด และที่อยู่อาศัย (Smith, 1965)

ปลากดเหลือง เป็นปลาเขตร้อนพบแพร่กระจายในแหล่งน้ำจืดทั่วไปของทวีปเอเชีย ได้แก่ อินเดีย เนปาล ปากีสถาน บังคลาเทศ เมียนมาร์ ไทย สาธารณรัฐประชาธิปไตย

ประชาชนลาว กัมพูชา เวียดนาม มาเลเซีย และอินโดนีเซีย (Smith, 1965; Khan, 1994) พบอาศัยอยู่ที่ระดับความลึก 2 - 10 เมตร ในเขตพื้นท้องน้ำที่เป็นแอ่งหินหรือเป็นพื้นดินแข็ง น้ำค่อนข้างใสและกระแสน้ำไหลไม่แรง (โยธิน และรังสิต, 2524) ปลากดเหลืองจัดเป็นปลากินเนื้อเนื่องจากกระเพาะอาหารมีลักษณะตรงผนังด้านในมีสีขาว จากการศึกษาองค์ประกอบอาหารที่พบในกระเพาะอาหาร พบว่าส่วนใหญ่เป็นปลาขนาดเล็ก 45 – 68 เปอร์เซ็นต์ ตัวอ่อนแมลงน้ำ 16.75 – 32.0 เปอร์เซ็นต์ กุ้งน้ำจืด 2.70 – 5.03 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นเศษพันธุ์ไม้น้ำ กรวดหินและดินโคลน (โยธิน และรังสิต, 2524) จากลักษณะรูปร่างที่ปราดเปรียวของปลากดเหลืองจะสามารถโฉบจับเหยื่อที่อยู่ผิวน้ำหรือกลางน้ำได้อย่างว่องไว สำหรับในประเทศไทยปลากดเหลืองมีแหล่งอาศัยอยู่ทั่วไปในทุกภาคของประเทศตลอดจนบริเวณน้ำกร่อยปากแม่น้ำ แต่ละพื้นที่มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เช่น ปลากดเหลือง ปลากดนา ปลากดขาว ปลากดคลอง ปลากลางหรือปลากดกลาง เป็นต้น ปลาอายุ 1 ปี สามารถผสมพันธุ์วางไข่ในช่วงฤดูฝน (โยธิน และรังสิต, 2524; เฉิดฉัน และคณะ, 2538) สำหรับสัดส่วนปลาเพศผู้ต่อปลาเพศเมียที่พบในธรรมชาติ คือ 1 : 1.06 โดยที่ขนาดของปลาที่เริ่มผสมพันธุ์ได้มีความยาวประมาณ 18 เซนติเมตร ปริมาณความดกของไข่ขึ้นอยู่กับขนาดของพ่อแม่พันธุ์ โยธิน และรังสิต (2524) รายงานว่าแม่ปลาที่มีความยาว 18 เซนติเมตร จะให้ไข่ประมาณ 12,500 ฟองต่อตัว ในขณะที่แม่ปลาที่มีความยาวมากกว่า 30 เซนติเมตร จะให้ไข่ประมาณ 40,000 ฟองต่อตัว นอกจากนี้ Khan และคณะ (1990) รายงานว่าแม่ปลาที่มีความยาวอยู่ในช่วง 34.8 - 45 เซนติเมตร จะมีจำนวนไข่อยู่ในช่วง 6,900 - 93,510 ฟองต่อตัว

ปัจจุบันปลากดเหลืองเป็นที่ต้องการของตลาดสูง เป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ (Khan *et. al.*, 1990) จัดได้ว่าเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง (เฉิดฉัน และคณะ, 2538)

2. คุณสมบัติของกรดไขมัน

กรดไขมัน (fatty acid) เป็นกรดคาร์บอกซิลิค (carboxylic acid) ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) แสดงคุณสมบัติความเป็นกรดต่อกับโซ่ไฮโดรคาร์บอนสายยาว (long chain hydrocarbon) โดยอาจแตกแขนงหรือไม่แตกแขนงก็ได้ มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 2 – 24 อะตอมหรืออาจมากกว่านั้น มีโครงสร้างโดยทั่วไป (general structure) คือ R-COOH

โดย R เรียกว่า หมู่อัลคิล (alkyl group) เป็นตัวแทนของคาร์บอนที่มีจำนวนต่างๆกัน (De Silva and Anderson, 1995) มีแนวโน้มละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ได้มากกว่าในน้ำโดยพวกที่มีขั้วจะละลายในน้ำ ส่วนพวกไม่มีขั้วจะไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป กรดไขมันที่ละลายในน้ำได้ดีจะมีสายคาร์บอนต่อกันสั้น แต่เมื่อความยาวของสายคาร์บอนเพิ่มขึ้นความสามารถในการละลายน้ำจะค่อยลดลงตามความยาวของสายคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น (พันทิพา, 2535) กรดไขมันที่พบในธรรมชาติมักมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนเลขคู่และมักพบในรูปกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) เพียงเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่พบในรูปไขมันที่ทำให้เกิดสบู่ได้ (saponifiable lipid) กรดไขมันในพืชและสัตว์ทั่วไปมีหมู่คาร์บอกซิลเพียงหมู่เดียว มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ระหว่าง 14 - 18 อะตอม และไม่แตกแขนงอาจอิ่มตัวหรือไม่ก็ได้ (บุญล้อม, 2541) ส่วนกรดไขมันที่ไม่เป็นเส้นตรงแต่มีกิ่งก้านแยกออกไปมักมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่และมักพบในพวกจุลินทรีย์ทั่วไปและในเนื้อเยื่อของสัตว์เคี้ยวเอื้องก็พบกรดไขมันประเภทนี้มากเช่นกันเพราะได้รับจากการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน แต่ในปลาอาจพบกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากถึง 22 อะตอม (Lovell, 1989; Mathews and Van Holde, 1996)

กรดไขมันแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ความอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวของกรดไขมันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกรดไขมัน 2 ประการ คือ ความยาวของโซ่คาร์บอนและจำนวนพันธะคู่ (Lehninger *et al.*, 1993) ชื่อของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่สำคัญหลายชนิดทั้งที่เป็นชื่อสามัญ (common name) ชื่อตามระบบ (systematic name) สัญลักษณ์ (symbol) สูตรโครงสร้าง (structure) และจุดหลอมเหลว (melting point, mp) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 และยังพบว่าในไขมันที่มาจากแหล่งต่างกัน มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกัน เป็นผลเนื่องมาจากองค์ประกอบของกรดไขมัน เช่น ไขมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ จะมีชนิดและปริมาณกรดไขมันที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3 (Bronk, 1973)

ตารางที่ 1 กรดไขมันอิ่มตัวหลายชนิดที่พบโดยทั่วไป

สัญลักษณ์	ชื่อสามัญ	ชื่อตามระบบ	สูตรโครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
2:0	acetic (อะซิติค)	n-ethanoic (เอทธาโนอิค)	CH_3COOH	16.7
3:0	propionic (โพรพิโอนิค)	n-propanoic (โพรพาโนอิค)	CH_3CH_2COOH	-2.2
4:0	butyric (บิวทีริค)	n-butanoic (บิวทาโนอิค)	$CH_3(CH_2)_2COOH$	-4.7
6:0	caproic (คาโพรอิค)	n-hexanoic (เฮกซะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_4COOH$	-1.5
8:0	caprylic (คาพริลิค)	n-octanoic (ออคตะโนอิค	$CH_3(CH_2)_6COOH$	16
10:0	capric (คาพลิค)	n-decanoic (เดคะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_8COOH$	32
12:0	lauric (ลอริค)	n-dodecanoic (โดเดคะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	44
14:0	myristic (ไมริสติค)	n-tetradecanoic (เตตระเดคะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	54
16:0	palmitic (ปาลมิติค)	n-hexadecanoic (เฮกซะเดคะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	63
18:0	stearic (สเตียริค)	n-octadecanoic (ออคตะเดคะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	70
20:0	arachidic (อะราชิดิค)	n-eicosanoic (ไอโคซะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	75
22:0	behenic (เบเฮนิค)	n-docosanoic (โดโคซะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	80
24:0	lignoceric (ลิกโนเซอริค)	n-tetracosanoic (เตตระโคซะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	84
26:0	cerotic (เซโรติก)	n-hexacosanoic (เฮกซะโคซะโนอิค)	$CH_3(CH_2)_{24}COOH$	88

ที่มา: คัดแปลงจาก Bronk (1973)

ตารางที่ 2 กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายชนิดที่พบโดยทั่วไป

สัญลักษณ์	ชื่อสามัญ	ชื่อตามระบบ	สูตรโครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
14:1	myristoleic (ไมริสโตเลอิค)	9-teteadecenoic (*cis*) (9-เตตระเดคีโนอิค)	$CH_3(CH_2)_3CH=CH(CH_2)_7COOH$	18.5
16:1	palmitoleic (ปาลมิโตเลอิค)	9-hexadecenoic (*cis*) (9-เฮกซะเดคีโนอิค)	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$	0.5
18:1	oleic (โอเลอิค)	9-octadecenoic (*cis*) (9-ออคตะเดคีโนอิค)	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$	13.4
18:1	vaccenic (วัคเซนิค)	11—octadecenoic (*trans*) (11-ออคตะเดคีโนอิค)	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$	44
18:2	linoleic (ลิโนลีอิค)	9,12- octadecadienoic (*cis, cis*) (9,12-ออคตะเดคะไดอีโนอิค)	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_2(CH_2)_6COOH$	-5
18:3	linolenic (ลิโนลีนิค)	9,12,15- octadecatrienoic (*cis, cis, cis*) (9,12,15-ออคตะเดคะไตรอีโนอิค)	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_3(CH_2)_6COOH$	-11
20:4	arachidonic (อะราชิโดนิค)	5,8,11,14-eicosatetraenoic (5,8,11,14-ไอโคซะเตตระอีโนอิค)	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_4(CH_2)_2COOH$	-49.5
20:5	EPA (อีพีเอ)	5,8,11,14,17-eicosapentaenoic (5,8,11,14,17-ไอโคซะเพนตะอีโนอิค)	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_5(CH_2)_2COOH$	-54
24:1	nervonic (เนอร์โวนิค)	15-tetracosenoic (15-เตตระโคซีโนอิค)	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_{13}COOH$	39

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bronk (1973)

ตารางที่ 3 ปริมาณของกรดไขมัน (มิลลิโมลต่อโมล) ของไขมันบางชนิด

กรดไขมัน	เนยเหลว	น้ำมันหมู	ไขวัว	ไขปลาวาฬ	น้ำมันถั่วลิสง	น้ำมันถั่วเหลือง
กรดไขมันอิ่มตัว						
4:0	90	0	0	0	0	0
6:0	30	0	0	0	0	0
8:0	20	0	0	0	0	0
10:0	40	0	0	0	0	0
12:0	30	0	0	38	0	0
14:0	110	10	70	74	0	0
16:0	230	320	290	94	100	95
18:0	90	80	210	7	97	37
กรดไขมันไม่อิ่มตัว						
18:1ω-9	260	480	410	325	511	217
18:2ω-6	30	110	20	5	274	571
18:3ω-3	3	6	-	98	<1	65

ที่มา: McDonald และคณะ (1995 อ้างโดย บุญล้อม, 2541)

โดยทั่วไปไขมันพืชและสัตว์ทะเลโดยเฉพาะอย่างยิ่งปลา มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคอยู่สูงนอกจากกรดโอลีอิค (oleic acid, 18:1ω-9) ซึ่งมีมากอยู่ในไขมันทั่วไป ขณะที่สัตว์ทั่วไปมีกรดไขมันอิ่มตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดปาลมิติก (palmitic acid, 16:0) และกรดสเตียริค (stearic acid, 18:0) อยู่สูงมาก

กรดไขมันอิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่ในโมเลกุลมีโซ่คาร์บอนสั้นและไม่มีพันธะคู่ คาร์บอนในโมเลกุลจับกับไฮโดรเจนเต็มที่แล้วไม่สามารถจับเพิ่มได้อีก เมื่อมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้นจะมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ทำให้เป็นสาเหตุหนึ่งที่สัตว์น้ำย่อยกรดไขมันอิ่มตัวได้ไม่ดีและสัมประสิทธิ์การย่อยมีค่าต่ำลง กรดไขมันอิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส จึงแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่พบในไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันวัว หรือน้ำมันหมู กรดไขมันกลุ่มนี้มีกรดอะซิติก (CH_3COOH) เป็นสารตั้งต้น (Martin *et al.*, 1983)

กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีโซ่คาร์บอนยาวและมีพันธะคู่ ทำให้คาร์บอนในโมเลกุลจับกับไฮโดรเจนเพิ่มได้อีก กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ในโมเลกุลตั้งแต่ 1 - 6 คู่ มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (บุญล้อม, 2541) สัตว์น้ำสามารถย่อยกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ดีและมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสูงขึ้นเพราะสัตว์น้ำเป็นสัตว์เลือดเย็นมีอุณหภูมิร่างกายเท่ากับอุณหภูมิน้ำจึงสามารถย่อยกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่ในสภาพของเหลวได้ดี ซึ่งจุดหลอมเหลวของกรดไขมันแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนอะตอม จำนวนพันธะคู่ และตำแหน่งของพันธะคู่ โดยทั่วไปกรดไขมันไม่อิ่มตัวมักอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และบางชนิดยังคงเป็นของเหลวที่จุดเยือกแข็ง กรดไขมันไม่อิ่มตัวพบเป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช (ยกเว้นน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม) เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำ น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันจากสัตว์น้ำ เช่น น้ำมันตับปลา (fish liver oil) น้ำมันตับปลาหมึก (cuttle liver oil) และน้ำมันปลา (fish oil) ได้แก่ น้ำมันปลาสลิด น้ำมันตับปลาคอด (cod liver oil) น้ำมันปลาเมนฮาเดน (menhaden oil) และน้ำมันตับปลาพอลลอค (pollock liver oil) เป็นต้น (Martin *et al.*, 1983)

กรดไขมันไม่อิ่มตัว แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. monounsaturated fatty acid เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่เพียงคู่เดียว กรดไขมันกลุ่มนี้สังเคราะห์จากกรดไขมันอิ่มตัว

2. polyunsaturated fatty acid (PUFA) เป็นกรดไขมันจำเป็นที่มีจำนวนคาร์บอน 18, 20 และ 22 อะตอม และจะมีพันธะคู่ตั้งแต่ 2 - 6 คู่ และมักเรียงตัวกันในลักษณะไอโซเมอร์ (isomer) แบบซิส (*cis*-configuration) (Egan *et al.*, 1981) กรดไขมันกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่นักโภชนาการอาหารสัตว์น้ำศึกษามาก กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 20 อะตอม และจำนวนพันธะคู่ตั้งแต่ 3 คู่ขึ้นไป เรียกว่า กรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง (highly unsaturated fatty acid, HUFA) ซึ่งพบมากในกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 (ω3-HUFA)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสัตว์น้ำมี 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มสามารถสร้างหรือสังเคราะห์กรดไขมันชนิดอื่นได้จากสารตั้งต้นโดยการเติมคาร์บอน เรียกว่า elongation และการเติมพันธะคู่ เรียกว่า desaturation (Sargent *et al.*, 1989) กรดไขมันทั้ง 3 กลุ่มนั้นประกอบด้วยครอบครัวกรดโอลีอิค (oleic acid family) หรือกลุ่มโอเมกา-9 (ω-9 หรือ n-9) ครอบครัวกรดลิโนลีอิค (linoleic acid family) หรือกลุ่มโอเมกา-6 (ω-6 หรือ n-6) และครอบครัวกรดลิโนลีนิค (linolenic acid family) หรือกลุ่มโอเมกา-3 (ω-3 หรือ n-3) (Sargent *et al.*, 1989)

กรดไขมันกลุ่มโอเมกา-9 มีกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดในกลุ่มคือ กรดโอลีอิค (18:1ω-9) ซึ่งพบมากในสัตว์บก เช่น น้ำมันวัว หรือน้ำมันหมู ได้แก่ 18:1ω-9, 20:2ω-9 และ 20:3ω-9 โดยเฉพาะ 20:3ω-9 จัดเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ผิดปกติ (abnormal polyunsaturated fatty acid) ซึ่งพบเป็นองค์ประกอบอยู่ในฟอสฟอลิปิดของปลาที่ขาดกรดไขมันจำเป็น (Sargent *et al.*, 1989)

กลุ่มโอเมกา-6 มีกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดในกลุ่มคือ กรดลิโนลีอิค (18:2ω-6) ซึ่งพบเป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชและสัตว์บก ในปลาน้ำจืดและปลาน้ำกร่อยบางชนิด เช่น ปลานิล (tilapia, *Tilapia zillii*) (Kanazawa *et al.*, 1980) และกลุ่มปลาซัลมอน (salmonids) (Sargent *et al.*, 1989) สามารถนำกรดลิโนลีอิคสังเคราะห์กรดอะราชิโดนิค (arachidonic, 20:4ω-6) ได้

กลุ่มโอเมกา-3 มีกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดในกลุ่มคือ กรดลิโนลีนิค (18:3ω-3) พบมากในวัชพืชน้ำ สาหร่ายน้ำจืด น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันจากเมล็ดต้นแฟลกซ์ (flax) ที่มีชื่อทางการค้าว่า น้ำมันลินสีด (linseed oil) กรดลิโนลีนิคถูกใช้สังเคราะห์กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคและกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคซึ่งเป็นกรดไขมันกลุ่ม

ω3-HUFA ที่พบเป็นองค์ประกอบในสัตว์น้ำโดยเฉพาะสัตว์ทะเล ได้แก่ น้ำมันปลา น้ำมันตับปลา และน้ำมันตับปลาหมึก เป็นต้น (Sargent *et al.*, 1989)

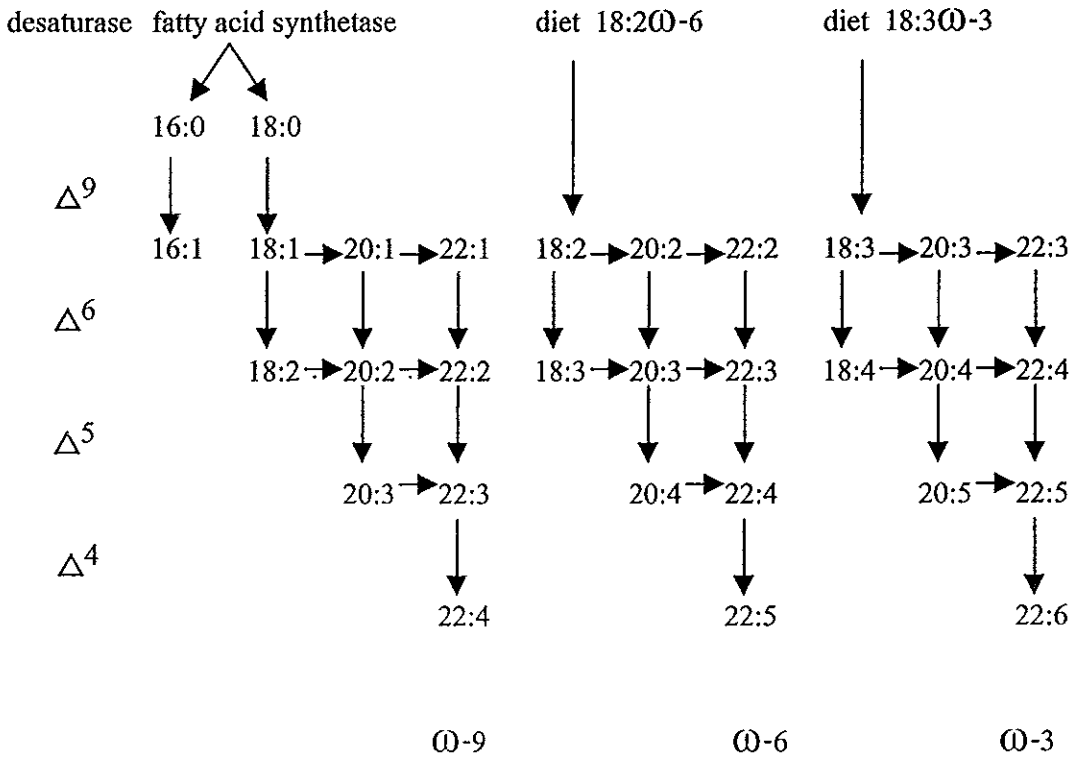
3. กรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid, EFA)

กรดไขมันจำเป็น เป็นกรดไขมันที่ร่างกายสัตว์สร้างไม่ได้หรือสร้างได้ไม่พอกับความต้องการจำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรง ถ้าขาดจะทำให้เกิดโรคหรืออาการผิดปกติในสัตว์ชั้นสูงโดยทั่วไปกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 คือกรดลิโนลีอิคและกลุ่มโอเมกา-3 คือกรดลิโนลีนิคจัดเป็นกรดไขมันจำเป็น ส่วนกรดอะราชิโดนิคซึ่งเป็นกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 สามารถสังเคราะห์ได้จากกรดลิโนลีอิค (Page, 1981) กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคและกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคซึ่งเป็นกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ก็สามารถสังเคราะห์จากกรดลิโนลีนิค (Bessonart *et al.*, 1999; Sargent *et al.*, 1999) กรดไขมันจำเป็นทั้ง 2 กลุ่มนี้ ที่พันธะคู่ระหว่างตำแหน่งคาร์บอนที่ 9 จนถึงปลายเมทธิลเป็นพันธะคู่ที่ร่างกายไม่สามารถสร้างได้จึงจำเป็นต้องผสมกรดไขมันกลุ่มดังกล่าวในอาหารสัตว์ กรดไขมันจำเป็นมีความสำคัญต่อร่างกายสัตว์เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรนจึงมีบทบาทสำคัญในการขนส่งลิปิดและเอนไซม์ที่เป็นไลโปโปรตีน (lipoprotein) บางชนิด นอกจากนี้เป็นสารต้นตอในการสังเคราะห์พรอสตาแกลนดิน (prostaglandin) และสารคล้ายฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ความดันเลือด และระบบภูมิคุ้มกัน (Sargent *et al.*, 1989)

4. ความสำคัญของกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิค

กรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์น้ำ ได้แก่ กรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 และกลุ่มโอเมกา-3 เพราะร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันทั้ง 2 กลุ่มนี้ได้เองจำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรงเท่านั้น สัตว์น้ำที่ไม่ได้รับกรดไขมันจำเป็นเหล่านี้จากอาหารจะมีการเจริญเติบโตช้าเบื่ออาหาร (Sargent *et al.*, 1989) ทำให้การผลิตอาหารปลาต้องพิจารณาถึงปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกายที่มีในอาหาร ซึ่งในอาหารปลานั้นชนิดและปริมาณของกรดไขมันดังกล่าวขึ้นกับความต้องการของปลาแต่ละชนิด ปลาบางชนิดต้องการกรดไขมันทั้งกลุ่มโอเมกา-6 และกลุ่มโอเมกา-3 แต่ปลาบางชนิดต้องการกรดไขมันเพียงกลุ่มเดียว (Alava and Kanazawa, 1996)

กรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิค จัดเป็นกรดไขมันที่เป็นต้นกำเนิดของกรดไขมันตัวอื่นๆในกลุ่มโอเมกา-6 และกลุ่มโอเมกา-3 ตามลำดับ ซึ่งจะถูกนำไปใช้สังเคราะห์กรดไขมันที่มีความสำคัญต่อร่างกายซึ่งมีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูงขึ้นและมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1) เช่น การสังเคราะห์กรดอะราชิโดนิคจากกรดลิโนลีอิคหรือการสังเคราะห์กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคและกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคจากกรดลิโนลีนิค เป็นต้น (Sargent *et al.*, 1989; 1999) ทั้งกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคจัดเป็นกรดไขมันจำเป็นและสัดส่วนของกรดลิโนลีนิคต่อกรดลิโนลีอิคยังใช้เป็นตัวกำหนดการแสดงผลสัดส่วนของกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคต่อกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคของตัวปลา แต่ในปลาบางชนิดสัดส่วนของกรดลิโนลีนิคต่อกรดลิโนลีอิคก็ไม่สามารถทำนายสัดส่วนของกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคต่อกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคของตัวปลาได้ (Sargent *et al.*, 1999) และการนำกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคไปใช้สังเคราะห์กรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้นสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถแตกต่างกัน Sargent และคณะ (1989) รายงานว่าปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout, *Salmo gairdneri*) และกลุ่มปลาซัลมอนสามารถใช้กรดลิโนลีนิคสังเคราะห์กรดไขมันชนิดอื่นที่มีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้นได้ Isik และคณะ (1999) รายงานว่าปลานิล (*T. zillii*) ที่เลี้ยงด้วยโรติเฟอร์ (*Brachionus calyciflorus*) ซึ่งมีองค์ประกอบกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคอยู่สูงสามารถสังเคราะห์กรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคจากกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคที่ได้รับจากอาหาร ขณะที่ปลาไหลญี่ปุ่น (eel, *Anguilla japonicus*) ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดเช่นกันแต่สามารถสังเคราะห์ได้น้อย และปลาเรดซีบรีม (red seabream, *Pagrus major*) ซึ่งเป็นปลาทะเลสามารถสังเคราะห์ได้น้อยมาก (Sargent *et al.*, 1989) จึงสอดคล้องกับรายงานของ Sargent และคณะ (1999) ที่รายงานว่าปลาทะเลไม่มีความสามารถในการสร้าง ω3-HUFA จากกรดลิโนลีนิคเนื่องจากขาดโคเอนไซม์ (coenzyme) ที่ใช้ในกระบวนการสร้างกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูง ปลาทะเลจึงต้องการกรดไขมัน ω3-HUFA จากอาหารโดยตรง (Sargent *et al.*, 1989)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเพิ่มคาร์บอน และพันธะคู่ของกรดไขมัน (ลูกศรแนวนอนแสดงการเพิ่มคาร์บอนทีละ 2 อะตอม และลูกศรแนวตั้งแสดงการเพิ่มพันธะคู่ทีละ 1 พันธะ)

ที่มา: Sargent และคณะ (1989)

Sargent และคณะ (1989) รายงานว่ากรดไขมันที่มีสายคาร์บอนยาวและมีความไม่อิ่มตัวสูง (PUFA) มีประสิทธิภาพและถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่ากรดไขมันที่มีสายคาร์บอนสั้นและการย่อยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมีประสิทธิภาพสูงกว่าการย่อยกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากัน โดยธรรมชาติของปลาซึ่งเป็นสัตว์เลือดเย็นมีอุณหภูมิในร่างกายใกล้เคียงอุณหภูมิของน้ำที่อาศัยอยู่ซึ่งค่อนข้างต่ำจึงเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ปลาไม่สามารถย่อยและนำกรดไขมันไปใช้ได้ดีนัก ปลาส่วนใหญ่จึงต้องการกรดไขมันที่มีสายคาร์บอนอะตอมยาวและมีความไม่อิ่มตัวสูงเพื่อการเจริญเติบโตที่เป็นปกติรวมทั้งการสืบพันธุ์ เช่น ปลาต้องการกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิด กรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิดและกรดอะราชิโดนิค (Sargent *et al.*, 1999) แต่ปลาบางชนิดสามารถใช้ประโยชน์จากกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 6 – 12 อะตอม (medium chain fatty acid, MCFA) มีรายงานการศึกษาการ

ใช้ไตรกลีเซอร์ไรด์ที่โซ่คาร์บอนมีความยาวขนาดกลาง (medium chain triglycerides, MCT) เสริมในอาหารปลาอะยู (ayu) ทำให้เนื้อปลามีคุณภาพดีขึ้น ช่วยลดองค์ประกอบไขมันในกล้ามเนื้อ ตับ และช่องท้อง ปลามีอัตราการเจริญเติบโตดี (Mustafa *et al.*, 1991) แต่ในปลากดอเมริกัน (Stickney and Andrew, 1972) ปลานิล (Takeuchi *et al.*, 1983b) ปลาดาร์พ (Shikata *et al.*, 1994) ทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain) มีค่าลดลง และจากรายงานของ Nakagawa และ Kusunoki (1990) พบว่าปลานิลที่ได้รับ MCT และน้ำมันปลาพอลลอค มีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน

กรดไขมันที่ปลาสังเคราะห์ขึ้นจะไม่เก็บในรูปกรดไขมันอิสระเพราะละลายน้ำยากและมีความเป็นกรดซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย ทำให้ปลาเก็บสะสมในรูปไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือฟอสโฟกลีเซอไรด์ (phosphoglyceride) (Hepher, 1988) กรดไขมันที่ปลาสังเคราะห์ขึ้นมาจะนำไปเก็บสะสมในอวัยวะต่างๆ เช่น เรตินา เส้นประสาท สมอง ตับ และกล้ามเนื้อ เป็นต้น เพื่อให้อวัยวะเหล่านั้นทำหน้าที่ของตัวเองได้ตามปกติ กรดไขมันสะสมมากที่สุดที่ตับ นอกจากนั้นยังสะสมที่กล้ามเนื้อหรือเนื้อเยื่อไขมันรองลงมาและอาจมีสะสมบริเวณใต้ชั้นผิวหนังและอวัยวะภายในอื่นๆในปริมาณที่ต่ำกว่า ปลาสามารถนำกรดไขมันที่สะสมมาเผาผลาญให้เป็นพลังงานสำรองถ้าร่างกายขาดอาหาร (starvation) เป็นเวลานานๆ เช่น ปลาซัลมอนขณะอพยพว่ายน้ำไปวางไข่เป็นเวลาหลายสัปดาห์ก็จะนำกรดไขมันที่สะสมในร่างกายมาใช้ ปลาแต่ละชนิดก็อาจเลือกใช้แหล่งพลังงานสำรองมาใช้แตกต่างกัน เช่น ปลาเรนโบว์เทราท์ที่อดอาหารนานๆจะนำกรดไขมันที่สะสมในเนื้อเยื่อไขมันรอบอวัยวะภายในมาใช้มากกว่ากรดไขมันที่สะสมในตับหรือกล้ามเนื้อ ปลาหมอเทศจะนำกรดไขมันจากกล้ามเนื้อมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองมากกว่าบริเวณเนื้อเยื่อไขมันรอบอวัยวะภายใน (Sargent *et al.*, 1989) นอกจากเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญแล้วกรดไขมันจำเป็นยังมีความสำคัญในการเป็นสารต้นกำเนิดของฮอร์โมนที่สำคัญหลายชนิดและยังช่วยในการป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของเส้นเลือด ปลามีการเจริญเติบโตดีและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหาร (Bell *et al.*, 1986)

5. ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาชนิดต่างๆ

ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลา ได้มีการศึกษาทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ ปลาส่วนมากมีความต้องการกรดไขมันจำเป็น 0.5 - 2 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ปลาที่ขาดกรดไขมันจะแสดงอาการคือ ปลาเจริญเติบโตช้าลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูง เบื่ออาหาร อัตราการตายสูง หรือมีอวัยวะบางอย่างผิดปกติ และในปลาบางชนิดอาจมีอาการช็อค (shock syndrome) (Sargent *et al.*, 1989) ส่วนปลาที่ได้รับกรดไขมันดังกล่าวมากเกินไปก็จะมีการเจริญเติบโตช้าลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน (NRC, 1983) สุพิศ (2535) รายงานว่า สิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ ความเค็ม ความสมบูรณ์ของอาหาร และชนิดของอาหารที่ปลาได้รับจากธรรมชาติ มีผลต่อองค์ประกอบไขมันในตัวปลาและมีผลต่อเนื่องถึงความต้องการกรดไขมันของปลาชนิดนั้นๆ เช่น ความแตกต่างระหว่างปลากินพืชกับปลากินเนื้อ ปลาทะเลกับปลาน้ำจืด และปลาในเขตหนาวกับปลาในเขตร้อนหรือเขตอบอุ่นมีความต้องการกรดไขมันแตกต่างกัน มีรายงานว่าปลาทะเลเป็นส่วนใหญ่ต้องการกรดไขมันกลุ่ม ω3-HUFA เช่น กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคและกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคเป็นหลักสำหรับการเจริญเติบโตที่เป็นปกติ (Castell *et al.*, 1994; Alava and Kanazawa, 1996; Rodriguez *et al.*, 1998) ขณะที่ปลาน้ำจืดส่วนใหญ่ต้องการกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอมก็เพียงพอแล้ว (Steffens, 1997) ทั้งนี้เนื่องจากปลาทะเลส่วนใหญ่จัดเป็นปลากินเนื้อ กินแพลงก์ตอน และกินปลาอื่นเป็นอาหาร ซึ่งอาหารเหล่านี้มี ω3-HUFA สูง กรดไขมันชนิดนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและเมื่อแพลงก์ตอนสัตว์กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารก็เป็นการนำ ω3-HUFA เข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ปลาทะเลจึงได้รับกรดไขมันกลุ่ม ω3-HUFA โดยตรงจากอาหาร (Sargent *et al.*, 1989) ส่วนในปลาน้ำจืดนั้นเนื่องจากอาหารซึ่งมีพวกพืช แมลง และแพลงก์ตอนพืชน้ำจืดซึ่งเป็นห่วงโซ่อาหารระดับเบื้องต้นของสัตว์น้ำจืดมีกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคสูงแต่ไขมันในปลาน้ำจืดก็ยังประกอบด้วย ω3-HUFA สูงและในปลาน้ำจืดมีทั้งปลากินเนื้อและปลากินพืชซึ่งในอาหารมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้องค์ประกอบกรดไขมันในตัวปลาแตกต่างกันด้วยและมีผลต่อแนวโน้มความต้องการกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 และโอเมกา- 6 แตกต่างกัน (วุฒิพร, 2541)

ปลาแต่ละชนิดทั้งปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็มมีองค์ประกอบกรดไขมันในตัวปลาแตกต่างกันออกไป ซึ่งโดยทั่วไปปลาน้ำเค็มมีระดับของกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิค

ในปริมาณที่ต่ำแต่มีระดับของกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ที่มีสายคาร์บอนยาวในปริมาณสูง เช่น กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิค และกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิค (ตารางที่ 4) (Steffens, 1997) และเมื่อเปรียบเทียบกับปลาน้ำจืดพบว่าส่วนใหญ่มีองค์ประกอบกรดไขมันเป็นชนิดกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม (Steffens, 1997) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบกรดไขมันในปลาน้ำเค็มบางชนิด

ชนิดกรดไขมัน	ชนิดปลา					
	Clupea harengus whole fish lipid (Akman and Eaton, 1966)	*Clupea harengus pallasi* flesh lipid (Gruger *et al.*, 1964)	*Gadus morhua* liver oil (Jangaard *et al.*, 1967)	*Sc. scombrus* flesh lipid (Gruger *et al.*, 1964)	*Brevoortia tyrannus* whole fish lipid (Gruger *et al.*, 1964)	*Oncorhynchus keta* flesh lipid (Gruger *et al.*, 1964)
14:0	5.1	7.6	3.7	4.9	8.0	2.2
16:0	10.9	18.3	12.6	28.2	28.9	17.0
16:1	12.0	8.3	9.3	5.3	7.9	4.1
18:0	1.2	2.2	2.3	3.9	4.0	3.2
18:1	12.6	16.9	22.7	19.3	13.4	21.4
18:2ω-6	0.7	1.6	1.5	1.1	1.1	2.0
18:3ω-3	0.3	0.6	0.6	1.3	0.9	1.0
18:4ω-3	1.5	2.8	0.6	3.4	1.9	2.0
20:1	16.1	9.4	7.5	3.1	0.9	5.4
20:4ω-6	0.4	0.4	1.4	3.9	1.2	0.9
20:4ω-3	0.4	-	0.6	-	-	-
20:5ω-3	7.4	8.6	12.9	7.1	10.2	6.7
22:1	19.8	11.6	6.2	2.8	1.7	9.4
22:5ω-6	0.4	-	0.3	-	0.7	0.6
22:5ω-3	1.1	1.3	1.7	1.2	1.6	2.3
22:6ω-3	3.9	7.6	12.7	10.8	12.8	16.1
$\sum\omega$-3	14.6	20.9	29.1	23.8	27.4	28.1
$\sum\omega$-6	1.9	2.0	3.7	5.0	3.0	4.2
ω-3/ω-6	7.7	10.5	7.9	4.7	9.1	6.7

ที่มา: ดัดแปลงจาก Steffens (1997)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบกรดไขมันในปลาน้ำจืดบางชนิด

ชนิดกรดไขมัน	ชนิดปลา					
	Oncorhynchus mykiss flesh lipid (Gruger *et al.*, 1964)	*Coregonus artedi* whole fish lipid (Akman, 1967)	*Ophiocephalus punctatus* flesh lipid (Nair and Gopakumar, 1978)	*Cyprinus carpio* flesh lipid (Kim and Lee, 1986)	*Hypophthalmichthys molitrix* flesh lipid (Meith *et al.*, 1989a)	*Aristichthys nobilis* flesh lipid (Meith *et al.*, 1989b)
14:0	2.1	4.6	0.7	2.3	4.5	2.4
16:0	11.9	13.8	24.0	19.6	15.4	10.8
16:1	8.2	21.5	5.8	9.4	10.5	9.1
18:0	4.1	2.9	13.9	4.5	3.2	2.5
18:1	19.8	25.2	14.0	23.4	24.8	27.0
18:2ω-6	4.6	1.9	3.8	3.9	4.3	3.1
18:3ω-3	5.2	2.6	0.5	6.0	7.0	7.8
18:4ω-3	1.5	1.5	1.8	0.2	-	-
20:1	3.0	1.3	0.7	0.8	2.5	2.8
20:4ω-6	2.2	1.7	6.1	3.5	3.3	3.3
20:4ω-3	-	0.8	-	-	-	-
20:5ω-3	5.0	6.2	6.0	6.0	6.6	10.7
22:1	1.3	0.3	0.3	-	2.9	3.1
22:5ω-6	0.6	0.5	-	-	1.4	1.2
22:5ω-3	2.6	1.8	2.2	1.2	2.0	2.1
22:6ω-3	19.0	3.8	6.7	5.1	6.0	9.9
$\sum\omega$-3	33.3	17.0	18.2	18.5	21.6	30.5
$\sum\omega$-6	8.0	5.4	11.3	9.4	11.0	9.7
ω-3/ω-6	4.2	3.2	1.6	2.0	2.0	3.1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Steffens (1997)

ส่วนองค์ประกอบกรดไขมันในตัวปลาซึ่งมีผลต่อความต้องการกรดไขมันของปลาชนิดนั้นๆซึ่งปลาแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของกรดไขมันในตัวปลาแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสาเหตุดังต่อไปนี้ (Lovell, 1989)

1. อุณหภูมิ พบว่ามีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบกรดไขมันในปลา เช่น ปลาที่อยู่ในเขตหนาวมีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อมากกว่าปลาที่อยู่ในเขตร้อนและมีผลทำให้ความต้องการกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ของปลาเขตหนาวจึงมากกว่าปลาเขตร้อนเพราะกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ทำให้เนื้อปลายืดหยุ่นตัวได้ดีโดยเฉพาะในสภาพอุณหภูมิต่ำ จากสาเหตุดังกล่าวมีผลทำให้ปลาเขตร้อนต้องการกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 เพียงอย่างเดียวหรืออาจต้องการทั้งกลุ่มโอเมกา-3 และกลุ่มโอเมกา-6

2. ความเค็ม พบว่ามีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบกรดไขมันในปลา ปลาน้ำเค็มส่วนมากมีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อมากกว่าปลาน้ำจืดเพราะปลาน้ำเค็มอยู่ในทะเลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ต้องการการเคลื่อนไหวที่คล่องตัวมากกว่า จากตารางที่ 6 Hepher (1988) สรุปสัดส่วนของกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 ต่อกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ในปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็มพบว่าปลาน้ำจืดมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดดังกล่าวมากกว่าปลาน้ำเค็ม ซึ่งนักโภชนาการอาหารปลาได้นำค่าสัดส่วนโอเมกา-6 ต่อโอเมกา-3 ที่พบในปลาแต่ละชนิดมาใช้ในการประเมินความต้องการกรดไขมันของปลาเนื่องจากกรดไขมันที่ปลาต้องการอย่างน้อยจะต้องมีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าที่สะสมในตัวปลา

3. ชนิดของอาหาร พบว่ามีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบกรดไขมันในปลาเช่นกัน เพราะปลาจะนำกรดไขมันในอาหารไปใช้หรือสะสมในตัวปลา ปลาที่กินอาหารที่มีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบอยู่มากก็จะมีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบในตัวปลา เช่นเดียวกับปลาที่กินอาหารที่มีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 เป็นองค์ประกอบก็จะมีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 เป็นองค์ประกอบในตัวปลา องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารแต่ละชนิดที่ปลากินเข้าไปจะมีความแตกต่างกัน เช่น แพลงก์ตอนพืช ไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียว มีกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคและกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคเป็นส่วนใหญ่ แพลงก์ตอนสัตว์ส่วนใหญ่มีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบทำให้ปลาที่กินแพลงก์ตอนพืชหรือแพลงก์ตอนสัตว์จึงมีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบอยู่มาก

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

ตารางที่ 6 องค์ประกอบกรดไขมันเฉลี่ยในเนื้อเยื่อปลาน้ำจืดและน้ำเค็มบางชนิด

กรดไขมัน	ปลาน้ำจืด	ปลาทะเล
14:0	4.1	4.7
16:0	14.6	19.0
16:1	14.2	8.3
18:0	2.9	2.9
18:1	22.8	19.7
18:2ω-6	3.5	1.2
18:3ω-3	3.4	0.8
18:4ω-3	1.7	2.0
20: 1	1.8	6.7
20: 4ω-6	2.5	1.5
20: 4ω-3	1.0	0.5
20:5ω-3	5.9	8.1
22:1	0.9	7.7
22:5ω-6	0.7	0.9
22:5ω-3	2.3	1.4
22:6ω-3	8.7	11.3
กรดไขมันอิ่มตัวรวม	23.3	25.7
กรดไขมันไม่อิ่มตัวรวม	41.6	42.7
ω-6 รวม	6.0	3.6
ω-3 รวม	23.4	23.3
สัดส่วน ω-6/ω-3	0.34	0.15

หมายเหตุ ปลาน้ำจืดคำนวณจากปลา 5 ชนิด คือ ชีพเฮิร์ท (sheep-herd) ทูลลิบี (tullibee) มาเรีย (maria) อะเลไวฟ์ (alewife) และเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout) ปลาทะเลคำนวณจากปลา 7 ชนิด คือ แอตแลนติกซัลมอน (atlantic salmon) แปซิฟิกเฮอร์ริง (pacific herring) แอตแลนติกคอด (atlantic cod) ชินุกซัลมอน (chinook salmon) แมคเคอเรล (mackerel) เมนฮาเดน (memhaden) และดีพสันสเมลท์ (deepson smelt)

ที่มา: Hepher (1988)

จากการศึกษาความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาชนิดต่างๆ พบว่าปลาแต่ละชนิดมีความต้องการกรดไขมันแตกต่างกันดังนี้

5.1 ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาน้ำจืด

ในปลาน้ำจืดมีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 มากกว่าในปลาทะเลเนื่องจากอาหารที่เป็นแพลงก์ตอนพืชน้ำจืดซึ่งเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นในห่วงโซ่อาหารมีกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 สูง ซึ่งแตกต่างจากแพลงก์ตอนพืชทะเล แต่ไขมันในปลาน้ำจืดก็ยังประกอบด้วยกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงเนื่องจากปลาน้ำจืดสามารถสังเคราะห์กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูงขึ้นและจำนวนพันธะเพิ่มขึ้นได้จากกรดไขมันต้นกำเนิดแต่ละกลุ่ม ปลาน้ำจืดแบ่งออกเป็นปลากินเนื้อและปลากินพืชเป็นอาหาร ในอาหารมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกันมีผลทำให้กรดไขมันในตัวปลาแตกต่างกัน ในกลุ่มปลากินเนื้อมีกรดไขมันทั้งกลุ่มโอเมกา-6 และโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบ ในขณะที่ปลากินพืชมีกลุ่มโอเมกา-6 เป็นองค์ประกอบอยู่มาก ปลากินเนื้ออาจมีแนวโน้มความต้องการกรดลิโนลีนิค 1-2 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร หรือต้องการ ω3-HUFA เช่น กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคและกรดโคโคซะเฮกซะอีโนอิค ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร (De Silva and Anderson, 1995)

กรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 มีความสำคัญมากกว่ากลุ่มโอเมกา-6 ในปลาเรนโบว์เทราท์ (Watanabe *et al.*, 1974) Castell และคณะ (1972) รายงานว่าปลาเรนโบว์เทราท์ที่ได้รับกรดลิโนลีอิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ปลาโตช้า ตับผิดปกติ และถ้าได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 นานๆ ทำให้ปลาเบื่ออาหาร โตช้า ช็อคง่าย ลำตัวดำ และมีอัตราการตายสูง แต่เมื่อได้รับกรดลิโนลีนิค ปลาจะหายจากอาการเหล่านี้ เช่นเดียวกับที่ Watanabe และคณะ (1974) พบว่าปลาเรนโบว์เทราท์ที่ได้รับกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตดี ประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงและมีอัตราการตายต่ำ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันจำเป็น เซลล์ตับผิดปกติมีแวคิวโอล (vacuole) เกิดขึ้นในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ของเซลล์ตับ ทำให้นิวเคลียส (nucleus) มีรูปร่างผิดปกติและถูกเบียดไปอยู่ที่ขอบเซลล์ และจากรายงานของ Takeuchi และ Watanabe (1977a) พบว่าเมื่อเพิ่มระดับกรดไขมันในอาหารสูงขึ้น ปลาเรนโบว์เทราท์ต้องการกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 สูงขึ้นตามสัดส่วนระดับไขมันที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้น Takeuchi และ Watanabe (1977b) พบว่ากรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 นั้น ω3-HUFA มีประสิทธิภาพสูงกว่ากรดลิโนลีนิค ดังรายงานที่พบในปลาเรนโบว์เทราท์ที่ได้รับ ω3-HUFA 0.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ปลามีน้ำหนักดีและสัดส่วน

กรดไขมันผิดปกติในตับลดลง และสัดส่วนกรดไขมันผิดปกติดังกล่าวยังคงมีค่าสูงในปลาที่ได้รับกรดลิโนลีนิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร

Stickney และ Andrew (1972) รายงานว่าปลากดอเมริกันที่ได้รับอาหารที่มีไขมันจากไขสัตว์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูงหรือได้รับอาหารที่มีไขมันจากน้ำมันปลาเมนฮาเดนที่มีสัดส่วนกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคต่อกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคสูง มีการเจริญเติบโตดี อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ และองค์ประกอบไขมันในตัวปลามีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับไขมันจากน้ำมันพืชดอกคำฝอย (safflower) ซึ่งมีกรดลิโนลีอิคหรือน้ำมันลินสีดซึ่งมีกรดลิโนลีนิคสูง

Borlongan และ Benitez (1992) รายงานว่าปลานวลจันทร์ทะเล (milkfish, *Chanos chanos*) ที่เลี้ยงในน้ำทะเลและน้ำจืดมีองค์ประกอบกรดไขมันในอวัยวะต่างๆ แตกต่างกัน และปลานวลจันทร์ที่เลี้ยงในทะเลมีความต้องการกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 มากกว่าโอเมกา-6

5.2 ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาทะเล

ปลาทะเลโดยทั่วไปจัดเป็นปลากินเนื้อ แพลงก์ตอน และปลาเล็กๆเป็นอาหาร ซึ่งอาหารเหล่านี้มีกรดไขมันกลุ่ม ω3-HUFA สูง กรดไขมันชนิดนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช และเมื่อแพลงก์ตอนสัตว์กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารจึงเป็นการนำ ω3-HUFA เข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นปลาทะเลจึงได้รับกรดไขมันกลุ่ม ω3-HUFA โดยตรงจากอาหารโดยไม่ต้องสังเคราะห์ขึ้นจากกรดลิโนลีนิค (Sargent *et al.*, 1989) De Silva และ Anderson (1995) รายงานว่าในระบบนิเวศทางทะเลผู้ผลิตเบื้องต้นที่เป็นผู้ผลิตหลักคือ สาหร่ายเซลล์เดียวซึ่งมีองค์ประกอบไขมัน 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมกา-3 ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

Fernandez-Palacios และคณะ (1995) รายงานว่าพ่อแม่พันธุ์ปลากิลท์เฮดซีบรีม (gilthead seabream, *Sparus aurata*) กลุ่มที่ได้รับ ω3-HUFA ที่ระดับ 1.6 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ทำให้ไข่มีคุณภาพดี อัตราฟักและอัตรารอดของตัวอ่อนสูง Rodriguez และคณะ (1993) รายงานว่าในปลาระยะวัยอ่อน (larva) มีการเจริญเติบโตดีเมื่อได้รับโรติเฟอร์ (rotifer) ที่มีระดับ ω3-HUFA 5.9 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร แต่จากรายงานของ Koven และคณะ (1990) พบว่าปลาระยะวัยอ่อนต้องการโรติเฟอร์ที่มีระดับ ω3-HUFA 0.05 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร

Koven และคณะ (1992) รายงานว่าปลาระยะวัยอ่อนมีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อได้รับอาร์ทีเมีย (artemia) ที่มีระดับ ω3-HUFA 29.8 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้งอาร์ทีเมีย และมีแนวโน้มความต้องการที่มากขึ้น Izquierdo และคณะ (1989 อ้างโดย Koven *et al.*, 1992) รายงานว่าปลาระยะวัยอ่อนต้องการ ω3-HUFA 38.8 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้งอาร์ทีเมีย Ibeas และคณะ (1994) รายงานว่า ปลาระยะวัยรุ่น (juvenile) ขนาด 42.5 $\pm$ 0.21 กรัม ต้องการ ω3-HUFA 1.9 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ปลาขนาด 11 - 30 กรัม ต้องการ ω3-HUFA 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร (Ibeas *et al.*, 1996) และปลาขนาด 1 กรัม ต้องการ ω3-HUFA ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร (Kalogeropoulos *et al.*, 1992)

Yone และ Fujii (1975) รายงานว่าปลาเรดซีบรีมที่ไม่ได้รับกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 20 อะตอม (PUFA) มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำและอัตราการตายสูง และปลามีอัตราการเจริญเติบโตดีเมื่อได้รับ ω3-HUFA 2 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร (Fujii and Yone, 1976) Takeuchi และคณะ (1990) รายงานว่าปลาต้องการกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิค หรือกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร แต่ Yone (1978 อ้างโดย Takeuchi *et al.*, 1990) รายงานว่าปลาต้องการกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิคเป็น 2 เท่าของกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิค

สุพิศ (2535) รายงานว่าปลาเรดซีบรีม และปลาเทอร์บอต (turbot, *Scophthalmus maximus*) ที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดลิโนลีนิคเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดไขมัน ω3-HUFA พบว่ากลุ่มที่ได้รับกรดลิโนลีนิคมีการเจริญเติบโตต่ำและอัตราการตายสูง องค์ประกอบกรดไขมันในตัวปลามีการสะสมกรดลิโนลีนิคสูงและมี ω3-HUFA น้อย แสดงว่าปลาทะเลไม่สามารถสร้าง ω3-HUFA จากกรดลิโนลีนิคได้เนื่องจากปลาทะเลขาดโคเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์จึงทำให้ปลาทะเลต้องการ ω3-HUFA โดยตรงจากอาหาร ขณะที่กลุ่มที่ได้รับ ω3-HUFA มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าและมีอัตราการรอดสูง

5.3 ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาเขตหนาว

มีรายงานว่าปลาในเขตหนาวต้องการกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 หรือ ω3-HUFA เป็นส่วนใหญ่ และกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 โดยเฉพาะกรดลิโนลีนิคมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดของกลุ่มปลาซัลมอน (Watanabe *et al.*, 1974) Thongrod และคณะ (1990) ศึกษาในปลายามาเมะ (yamame, *Oncorhynchus masou*) พบว่าปลาต้องการกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร คือปลาที่ได้รับกรดโอลีอิคอย่างเดียว 5 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ อัตราการตาย ค่าดัชนีตับต่อตัวและระดับกรดไขมันที่ผิดปกติมีค่าสูง ส่วนปลาที่ได้รับกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีที่สุด และปลาที่ได้รับ ω3-HUFA ให้ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตต่ำกว่ากรดลิโนลีนิค

Takeuchi และคณะ (1979) รายงานว่าปลาชัมซัลมอน (chum salmon, *Oncorhynchus keta*) ต้องการกรดลิโนลีอิคหรือกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร หรือ ω3-HUFA 0.5 - 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร คือปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันจำเป็นมีน้ำหนักน้อย ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ การตายสูง เซลล์ตับบวมมีการสะสมแวคิวโอลจำนวนมากที่เซลล์ตับ สัดส่วนระดับกรดไขมันที่ผิดปกติมีค่าสูง การเติมกรดลิโนลีอิคหรือกรดลิโนลีนิคในอาหารทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น ปลาที่ได้รับกรดลิโนลีนิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหารมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีแต่มีการตายสูง ส่วนปลาที่ได้รับกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร การเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร

Watanabe และคณะ (1989) รายงานว่าปลาไวท์ฟิช (white fish, *Coregonus lavaretus*) ต้องการกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร หรือ ω3-HUFA 0.5 - 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ปลาที่ได้รับกรดลิโนลีอิคมีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการรอดต่ำ เซลล์ตับบวมมีการสะสมแวคิวโอลจำนวนมากที่เซลล์ตับ สัดส่วนระดับกรดไขมันที่ผิดปกติมีค่าสูง

5.4 ความต้องการกรดไขมันจำเป็นในปลาเขตอบอุ่นหรือเขตร้อน

ปลาในเขตอบอุ่นหรือเขตร้อนต้องการกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 และ/หรือโอเมกา-6 ดังรายงานของ Takeuchi และคณะ (1983a) ที่ศึกษาในปลานิล (*T. nilotica*) พบว่าต้องการกรดลิโนลีอิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร Kanazawa และคณะ (1980) รายงานว่า ปลานิล (*T. zillii*) ต้องการกรดลิโนลีอิคหรืออะราชิโดนิค 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร

Stickney และ McGeachin (1984) รายงานว่า ปลานิลแดง (*Oreochromis aureus*) ระยะปลานิ้ว (fingerling) ที่ได้รับอาหารที่มีกรดสเตียริค 3 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดโอลีอิค 1 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนลีอิค 1 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตเป็นที่น่าพอใจ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีกรดสเตียริค 4 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกรดลิโนลีอิค 2 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่มีกรดสเตียริค 4 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกรดลิโนลีนิค 2 เปอร์เซ็นต์ ปลามีการเจริญเติบโตไม่ดี และไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นและเพิ่มจำนวนพันธะคู่ได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของกรดลิโนลีนิคและกรดลิโนลีอิคที่ระดับต่างๆต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการรอดตายในปลากดเหลือง

2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในตัวปลา เมื่อได้รับอาหารที่มีกรดไขมันลิโนลีนิคและลิโนลีอิคที่ระดับต่างๆ

3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา โดยเปรียบเทียบระหว่างปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันลิโนลีนิคและลิโนลีอิคที่ระดับต่างๆ กับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันจำเป็น

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ

1. พันธุ์ปลากดเหลือง

ปลากดเหลืองวัยอ่อน น้ำหนักเฉลี่ย 2.5 - 2.6 กรัม นำมาจากสถานีประมงน้ำจืดสงขลา อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา

2. อาหารสำหรับอนุบาลลูกปลาก่อนเริ่มต้นการทดลอง

การเตรียมอาหารสำหรับอนุบาลลูกปลาในระยะแรกก่อนเริ่มต้นการทดลอง ตามวิธีการของ วุฒิพร และคณะ (2540ก)

3. สารเคมี

สารเคมีระดับงานวิเคราะห์ (analytical grade) สำหรับใช้เตรียมอาหารทดลอง (ตารางที่ 7 และ 8) การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของปลา (ภาคผนวก ก) การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันของปลา (ภาคผนวก ก) และการศึกษาด้านเนื้อเยื่อวิทยา (ภาคผนวก ก)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้เลี้ยงปลาทดลอง

1.1 ถังไฟเบอร์กลาสกลม ปริมาตร 1.2 ลูกบาศก์เมตร

1.2 ตู้ทดลอง ใช้ตู้กระจกขนาด 100 x 50 x 47 เซนติเมตร ปิดด้วยพลาสติกสีทึบทางด้านข้างและด้านหลัง 3 ด้าน

1.3 ชุดอุปกรณ์ระบบให้อากาศ ประกอบด้วย เครื่องให้อากาศ สายยาง และหัวทราย

1.4 ชุดอุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายน้ำ ประกอบด้วย สายยางดูดตะกอน สายยางเปลี่ยนถ่ายน้ำ และปั๊มน้ำชนิดจุ่ม

2. อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง

2.1 เครื่องเตรียมอาหารของ Hobart mixer รุ่น Model A 200T ประกอบด้วย ชุดเครื่องผสมอาหารแบบมีใบพัด และชุดเครื่องอัดเม็ดอาหาร

2.2 อุปกรณ์ชั่งตวงวัสดุอาหาร แร่ธาตุ และวิตามิน ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของ Satorius รุ่น Research เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของ Satorius รุ่น Basic บีกเกอร์ กระบอกตวง และถาดเตรียมอาหาร

2.3 ตู้แช่แข็ง สำหรับแช่อาหารทดลอง

3. อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ถังน้ำบรรจุ 20 ลิตร ถังพลาสติกขนาด 3 ลิตร กะละมังพลาสติก และสวิงช้อนปลา

4. อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลา

4.1 อุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้น ได้แก่ ขวดชั่ง (bottle weight) ตู้อบ (hot air oven) ของ Memmert โถดูดความชื้น (desiccator) และเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.2 อุปกรณ์วิเคราะห์เถ้า ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) เตาเผา (muffle furnace) ของ Gallenkamp โถดูดความชื้น และเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (fat extraction) ของ Soxtec System HT 6 ไส้กรองสาร ถ้วยสกัดสาร ตู้อบ โถดูดความชื้น และเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.4 อุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน ได้แก่ หลอดย่อยโปรตีน (digestion tube) เครื่องย่อย (digestion apparatus) ของ Gerhardt รุ่น Kjeldatherm เครื่องกลั่น (distillation) ของ Gerhardt รุ่น Vapodest 1 ขวดรูปชมพู่ กระบอกตวง และบิวเรต

5. อุปกรณ์สกัดเมทธิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester)

ประกอบด้วย ชุดสกัดไขมัน ได้แก่ กรวยสกัด บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ หลอดฝาเกลียว กระบอกตวง เครื่องเขย่า เตาร้อน และอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

6. อุปกรณ์ศึกษาพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อ

ประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์ผ่าตัด เครื่องเตรียมเนื้อเยื่ออัตโนมัติ (automatic tissue processor) ของ Technicon Corporation รุ่น Autotechnicon Mono MOD. 2A เครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อ ของ Jung AG Heidelberg ตู้อบ อ่างน้ำอุ่น (warm bath) เตาร้อน (hot plate) สไลด์ กล้องถ่ายภาพของ Olympus รุ่น BX 50 และกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบของ Olympus รุ่น C-35 AD

วิธีการ

1. การเตรียมการทดลอง

1.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด 100 x 50 x 47 เซนติเมตร บรรจุน้ำ 120 ลิตร ปิดตู้กระจกด้วยพลาสติกสีทึบทางด้านข้างและด้านหลัง 3 ด้านเพื่อป้องกันปลาทดลองถูกรบกวนจากภายนอกขณะทำการทดลองและให้อากาศตลอดระยะเวลาการเลี้ยง น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาใช้น้ำประปาที่นำมาพักไว้ 2 - 3 วัน โดยการให้อากาศตลอดเวลาเพื่อให้คลอรีนสลายตัวก่อนนำมาใช้ (วุฒิพร และคณะ, 2540ก)

1.2 การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลองทั้งหมด 7 สูตร โดยอาหารทุกสูตรมีองค์ประกอบและปริมาณวัสดุอาหารเหมือนกัน จะแตกต่างกันที่ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เสริมในอาหาร (ตารางที่ 7 และ 8)

เตรียมอาหารทดลองโดยแยกชั่งวิตามินและแร่ธาตุแต่ละชนิดอย่างละเอียด บดแร่ธาตุทุกชนิดผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวจากนั้นนำมารวมกับวิตามินที่ละลายในไขมัน ส่วนวิตามินที่ละลายน้ำจัดเตรียมเป็นสารละลายวิตามินรวม แยกชั่งวัสดุอาหารที่ต้องใช้ในการเตรียม

อาหารทดลอง ซึ่งได้แก่ เคซีน (casein) เดกซ์ตริน (dextrin) เซลลูโลส (cellulose) คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส หรือ ซี.เอ็ม.ซี. (carboxy methyl cellulose) ปลาป่นสกัดไขมัน วิตามินผสม แร่ธาตุผสม และกรดไขมันแต่ละชนิด บรรจุวัสดุอาหารแต่ละชนิดแยกในถุงพลาสติกโพลีเอทธีลีน จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นกรดไขมันและวิตามินผสม ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมอาหารแบบมีใบพัดจนกระทั่งส่วนผสมของวัสดุอาหารดังกล่าวผสมเป็นเนื้อเดียว จึงนำกรดไขมันผสมลงไปในอาหารแต่ละสูตรจนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมดผสมเข้ากันจึงเติมน้ำกลั่นและสารละลายวิตามินที่ละลายน้ำลงในอาหารโดยมีน้ำหนักรวมทั้งหมด 25 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการอัดเม็ดอาหารผ่านหน้าแว่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร นำอาหารทดลองผึ่งให้แห้งในที่ร่มและตัดอาหารให้เป็นท่อนสั้นๆ จากนั้นบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทธีลีนและนำไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (วุฒิพร และคณะ, 2540ข) และนำอาหารทดลองไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีนตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1985) พบว่าคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองแต่ละสูตรมีความชื้น 13.44 $\pm$ 0.94 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 8.06 $\pm$ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6.16 $\pm$ 0.34 เปอร์เซ็นต์ (ยกเว้นสูตรที่ 1 มีไขมัน 0.57 $\pm$ 0.08 เปอร์เซ็นต์) และโปรตีน 32.21 $\pm$ 0.49 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ ข.1) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารทดลองทุกสูตร ตามวิธีการของ AOAC (1985) แสดงในตารางผนวกที่ ข.2

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบอาหารทดลองแต่ละสูตร

ส่วนประกอบ	สูตรอาหาร						
(กรัม/อาหาร100 กรัม)	1	2	3	4	5	6	7
เคซีน	30	30	30	30	30	30	30
เดกซ์ตริน	40	40	40	40	40	40	40
เซลลูโลส	9.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
ซี.เอ็ม.ซี.	3	3	3	3	3	3	3
ปลาป่นสกัดไขมัน	10	10	10	10	10	10	10
กรดไขมัน*	-	6	6	6	6	6	6
แร่ธาตุผสม**	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
วิตามินผสม***	2	2	2	2	2	2	2

*ส่วนประกอบของกรดไขมันในอาหารทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 8

**แร่ธาตุผสม (กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย $CaHPO_4.2H_2O$ 20.7; $CaCO_3$ 14.8; KH_2PO_4 10; KCl 0.1; NaCl 6; $MnSO_4.H_2O$ 0.35; $FeSO_4.7H_2O$ 0.5; $MgSO_4$ 3; KIO_3 0.1; $CuSO_4.5H_2O$ 0.03; $ZnCO_3$ 0.15; $CoCl_2.6H_2O$ 0.0017; $Na_2MoO_4.2H_2O$ 0.0083; $Na_2SeO_3.5H_2O$ 0.0002

วิตามินผสม (ปริมาณต่ออาหาร 1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย vitamin A-palmitate 5,000 IU*; vitamin D_3 (cholecalciferol) 1,000 IU****; vitamin E (DL-α-tocopherol) 50 IU****; vitamin K_1 (phylloquinone) 10 mg; choline chloride 550 mg; nicotinic acid 100 mg; vitamin B_1 (thiamine hydrochloride) 20 mg; vitamin B_2 (riboflavin) 20 mg; vitamin B_6 (pyridoxine hydrochloride) 20 mg; D-panthothenic acid calcium salt 50 mg; biotin 5 mg; folic acid 5 mg; vitamin B_{12} (cyanocobalamin) 0.02 mg; myo-inositol 100 mg; vitamin C (ascorbyl monophosphate Ca) 100 mg

****วิตามิน เอ (vitamin A-palmitate) 1,750 หน่วยสากล (IU) ต่อมิลลิกรัม

****วิตามิน ดี (vitamin D_3 cholecalciferol) 40,000 หน่วยสากล (IU) ต่อมิลลิกรัม

****วิตามิน อี (vitamin E, DL-α-tocopherol) 1.1 หน่วยสากล (IU) ต่อมิลลิกรัม

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบของกรดไขมันในอาหารทดลองแต่ละสูตร

สูตรอาหาร	ปริมาณกรดไขมันที่เติมในอาหาร (กรัม/ อาหาร 100 กรัม)		
	กรดสเตียริค 18:0	กรดลิโนลีอิค 18:2 ω-6	กรดลิโนลีนิค 18:3 ω-3
1	-	-	-
2	6	-	-
3	5	1	-
4	5.5	0.5	-
5	5	-	1
6	5.5	-	0.5
7	5	0.5	0.5

1.3 การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำปลากดเหลืองวัยอ่อนน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 2.5 - 2.6 กรัม จำนวน 1,000 ตัว อนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1.2 ลูกบาศก์เมตร โดยใส่น้ำในถังให้ได้ปริมาตรความจุ 0.4 ลูกบาศก์เมตร เพื่อให้ลูกปลาปรับตัวเข้ากับสภาพการทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ อนุบาลลูกปลาโดยใช้อาหารอัดเม็ดและขาดกรดไขมัน (สูตรที่ 1) เพื่อลดระดับกรดไขมันจำเป็นที่มีในตัวปลาให้น้อยที่สุดก่อนการทดลอง จากนั้นทำการคัดลูกปลาลงตู้ทดลอง

2. วิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design, CRD) โดยแบ่งชุดการทดลอง (treatment) เป็น 7 ชุดการทดลองที่มีระดับกรดไขมันจำเป็นแตกต่างกัน แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ (replication) ใช้ปลาจำนวน 20 ตัวต่อซ้ำ รวมใช้ปลาทั้งหมด 420 ตัว โดยสุ่มปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 4.0 - 4.6 กรัม นำไปชั่งน้ำหนัก แต่ละตู้ทดลองบรรจุน้ำปริมาตร 120 ลิตร ให้อากาศตลอดระยะเวลาการเลี้ยงและให้อาหารทดลองวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าเวลา 08.30 นาฬิกา และช่วงเย็นเวลา 16.30 นาฬิกา โดยให้ปลากินจนอิ่ม ดูดเศษ

ตะกอน ทำความสะอาดตู้ทดลองและเปลี่ยนถ่ายน้ำวันละ 80–100 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

3. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะที่แสดงออกภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตลักษณะผิดปกติภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การตกเลือดและการเกิดบาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆรวมทั้งสังเกตพฤติกรรมที่ผิดปกติในปลาแต่ละกลุ่ม โดยตรวจสอบระหว่างการให้อาหารและขณะเปลี่ยนถ่ายน้ำ

3.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

นับจำนวนและชั่งน้ำหนักปลาทุก 2 สัปดาห์ เพื่อทราบน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นโดยการชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละซ้ำแล้วนำมาคิดค่าเฉลี่ยของปลาแต่ละตัว อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ตามวิธีการของ Mukhopadhyay และ Rout (1996) อัตราการกินอาหาร ตามวิธีการของ Yone และ Fujii (1975) และบันทึกผลอัตราการรอดตายของปลาในแต่ละชุดการทดลอง

การคำนวณน้ำหนักปลาที่เพิ่มเฉลี่ยต่อตัว (% weight gain) โดยสมการ

$$\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มเฉลี่ยต่อตัว (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักปลาสุดท้าย} - \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

การคำนวณอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) โดยสมการ

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน)} = \frac{(\ln \text{น้ำหนักปลาสุดท้าย} - \ln \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น})}{\text{เวลา (วัน)}} \times 100$$

การคำนวณอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) โดยสมการ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{(\text{น้ำหนักอาหาร ที่ปลากิน})}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

การคำนวณอัตราการกินอาหาร (rate of feed intake) โดยสมการ

อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน)

$$= \frac{F \times 100}{\frac{Wo + Wt}{2} \times \frac{No + Nt}{2} \times t}$$

โดยที่ F คือ น้ำหนักอาหารแห้งที่ปลากิน

Wo คือ น้ำหนักปลาเฉลี่ยเริ่มต้น

Wt คือ น้ำหนักปลาเฉลี่ยสุดท้าย

No คือ จำนวนปลาเริ่มต้น

Nt คือ จำนวนปลาสุดท้าย

t คือ ระยะเวลาที่ปลาได้รับอาหารทดลอง

การคำนวณอัตราการรอดตาย (% survival rate) โดยสมการ

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือ} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

3.3 การหาค่าดัชนีตับต่อตัว (% hepatosomatic index, HI)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการชั่งน้ำหนักตับ น้ำหนักปลา และนำมาคำนวณหาค่าดัชนีตับต่อตัว ตามวิธีการของ Anwar และ Jafri (1995)

การคำนวณหาค่าดัชนีตับต่อตัว โดยสมการ

$$\text{ดัชนีตับต่อตัว (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตับปลา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวปลา}}$$

3.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลา

สุ่มตัวอย่างปลาก่อนเริ่มการทดลองจำนวน 90 ตัว เพื่อวิเคราะห์ความชื้นในร่างกายทันทีและนำตัวอย่างปลาไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาได้แก่ ปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (1985) บันทึกเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาเริ่มต้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มตัวอย่างปลา 9 ตัวจากทุกชุดการทดลอง

นำไปวิเคราะห์ความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาได้แก่ ปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีน ด้วยวิธีเดียวกันกับตัวอย่างปลาก่อนเริ่มการทดลอง แล้วบันทึกเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จากนั้นจึงนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ตามวิธีการของ Zeitoun และคณะ (1973) และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ตามวิธีการของ Robinson และ Wilson (1985)

การคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) โดยสมการ

$$\text{ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน}}$$

การคำนวณการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (apparent net protein utilization, ANPU) โดยสมการ

$$\text{การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (\%)} = \frac{\text{โปรตีนของตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - โปรตีนของตัวปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง} \times 100}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง}}$$

นอกจากนั้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มตัวอย่างปลา และแยกเฉพาะส่วนของเนื้อปลานำไปวิเคราะห์องค์ประกอบร่างกายได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีน ส่วนตับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบไขมัน ด้วยวิธีเดียวกันที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

3.5 การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในตัวปลา

ทำการเก็บตัวอย่างปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำส่วนตับมาสกัดไขมันรวม (total lipid, TL) ตามวิธีการของ Folch และคณะ (1957) จากนั้นนำไขมันรวมที่ได้ไปเตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester, FAME) โดยการซาพอนนิฟิเคชัน (saponification) และเมทธิลเลชัน (methylation) ตามวิธีการของ AOAC (1985) แล้วนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่องแกซโครมาโตกราฟี (gas chromatography, GC)

3.6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างโดยตัดส่วนตับดองด้วยน้ำยาบูแอง (Bouin's solution) 1 สัปดาห์ แล้วเปลี่ยนน้ำยาดองเป็นแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ก่อนนำไปผ่านกระบวนการเตรียมเนื้อเยื่อ ตามวิธีการของ Bancroft (1967) เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อ

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torrie, 1980)

บทที่ 3

ผลการทดลอง

1. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ

ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร มีพฤติกรรมปกติตลอดจนไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก

2. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ค่าดัชนีตับต่อตัว อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ

2.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 9 และภาพที่ 2 พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองจนถึงสัปดาห์ที่ 4 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากดเหลืองแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาในแต่ละชุดการทดลองเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 และมีความแตกต่างกันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยในสัปดาห์ที่ 6 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (เสริมกรดลิโนลีอิค 0.5 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่ 2 คือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ขาดกรดไขมัน) อาหารสูตรที่ 3 (เสริมกรดลิโนลีอิค 1 เปอร์เซ็นต์) อาหารสูตรที่ 6 (เสริมกรดลิโนลีนิค 0.5 เปอร์เซ็นต์) และอาหารสูตรที่ 7 (เสริมกรดลิโนลีอิคและลิโนลีนิคอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่กลุ่มที่ 3 ได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (เสริมกรดสเตียริคเพียงอย่างเดียว 6 เปอร์เซ็นต์) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำที่สุด และใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (เสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลองดังกล่าว ($P<0.05$) (ตารางที่ 9) สัปดาห์ที่ 8 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลามีความแตกต่างกันระหว่าง

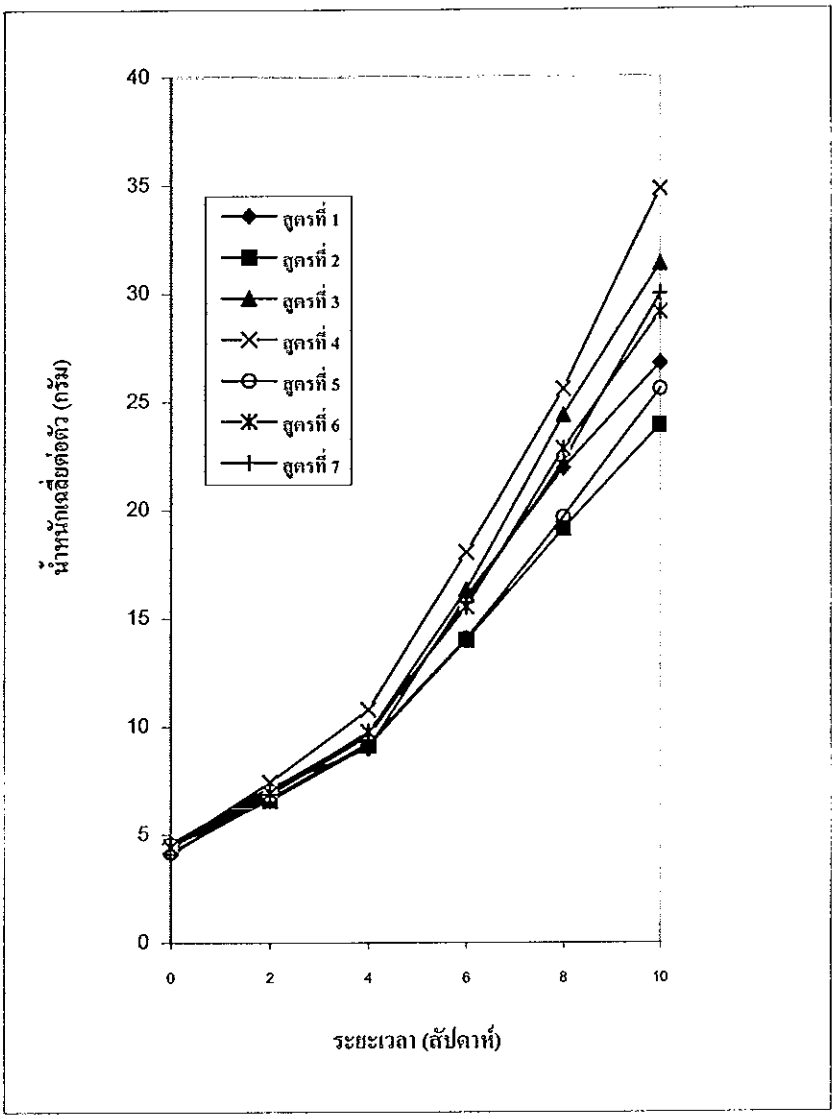
ชุดการทดลอง โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 4 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ โดยมีค่าระหว่าง 24.37 ± 1.35 และ 25.58 ± 1.55 กรัม ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (P>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 6 และ 7 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวอยู่ในช่วง 21.92 ± 2.22 – 22.81 ± 0.56 กรัม และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (P>0.05) ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 5 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำมีค่าอยู่ในช่วง 19.12 ± 2.37 - 19.66 ± 0.25 กรัม และไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นกัน (P>0.05) ในสัปดาห์ที่ 10 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 4) มีค่า 34.79 ± 3.78 กรัม ซึ่งสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิค 1 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 31.34 ± 1.69 กรัม อย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 23.89 ± 0.14 - 29.96 ± 1.48 กรัม อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิค 1 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3) ซึ่งมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 6 และ 7) อย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) แต่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมกรดไขมัน (สูตรที่ 1) เสริมกรดสเตียริค (สูตรที่ 2) เสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 7) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 9 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม) ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)					
	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 10
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	4.59 ± 0.00^{a}	7.19 ± 0.34^{a}	8.99 ± 0.66^{a}	16.02 ± 1.37^{b}	21.92 ± 2.22^{bc}	26.75 ± 1.0^{cde}
T_2 18:0 6 %	4.47 ± 0.24^{a}	6.59 ± 0.07^{a}	9.13 ± 0.23^{a}	14.00 ± 0.28^{c}	19.12 ± 0.37^{d}	23.89 ± 0.14^{e}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	4.44 ± 0.23^{a}	7.09 ± 0.78^{a}	9.67 ± 0.98^{a}	16.31 ± 0.46^{b}	24.37 ± 1.35^{ab}	31.34 ± 1.69^{ab}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	4.45 ± 0.16^{a}	7.43 ± 0.06^{a}	10.78 ± 0.16^{a}	18.04 ± 0.15^{a}	25.58 ± 1.55^{a}	34.79 ± 3.78^{a}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	4.18 ± 0.07^{a}	6.69 ± 0.15^{a}	9.23 ± 0.19^{a}	14.05 ± 0.27^{c}	19.66 ± 0.25^{cd}	25.57 ± 0.37^{de}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	4.42 ± 0.30^{a}	6.93 ± 0.54^{a}	9.77 ± 0.23^{a}	15.53 ± 0.70^{b}	22.81 ± 0.56^{b}	29.10 ± 1.17^{bcd}
T_7 18:0 5% + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	4.09 ± 0.07^{a}	$6:87 \pm 0.31^{a}$	9.57 ± 0.17^{a}	15.73 ± 0.55^{b}	22.22 ± 0.55^{bc}	29.96 ± 1.48^{bc}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)



ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์

2.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และค่าดัชนีตับต่อตัว

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 10 พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 435.62 ± 32.09 – 681.37 ± 56.05 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3, 4 และ 7 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงอยู่ในช่วง 605.55 ± 13.45 – 681.37 ± 56.05 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงรองลงมาคือ 561.09 ± 66.36 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 5 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 435.62 ± 32.09 – 511.77 ± 19.11 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($P < 0.05$)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 10 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.40 ± 0.08 – 2.93 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3, 4 และ 7 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ มีค่าอยู่ในช่วง 2.79 ± 0.03 – 2.93 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน ส่วนปลาที่ได้รับสูตรที่ 1, 5 และ 6 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงรองลงมา โดยอยู่ในช่วง 2.52 ± 0.11 – 2.69 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุดคือ 2.40 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($P < 0.05$)

ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 10 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.84 ± 0.22 – 2.90 ± 0.41 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2, 5 และ 6 มีค่าดัชนีตับต่อตัวสูงสุดอยู่ในช่วง 2.29 ± 0.62 – 2.90 ± 0.41 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 4 ซึ่งมีค่าดัชนีตับต่อตัวอยู่ในช่วง 2.14 ± 0.32 – 2.17 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 มีค่าดัชนีตับต่อตัวต่ำที่สุดคือ 1.84 ± 0.22 เปอร์เซ็นต์ ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($P < 0.05$)

ตารางที่ 10 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และค่าดัชนีตับต่อตัว ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน)	ค่าดัชนีตับต่อตัว (เปอร์เซ็นต์)
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	482.83 ± 45.15^{cd}	2.52 ± 0.11^{cd}	2.90 ± 0.41^{a}
T_2 18:0 6 %	435.62 ± 32.09^{d}	2.40 ± 0.08^{d}	2.76 ± 0.68^{ab}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	605.55 ± 13.45^{ab}	2.79 ± 0.03^{ab}	2.17 ± 0.57^{bc}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	681.37 ± 56.05^{a}	2.93 ± 0.10^{a}	2.14 ± 0.33^{bc}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	511.77 ± 19.11^{cd}	2.59 ± 0.04^{cd}	2.29 ± 0.62^{abc}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	561.09 ± 66.36^{bc}	2.69 ± 0.14^{bc}	2.37 ± 0.15^{abc}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	632.32 ± 23.82^{a}	2.84 ± 0.05^{ab}	1.84 ± 0.22^{c}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$)

2.3 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และอัตราการรอดตายของปลากดเหลือง

อัตราการกินอาหารของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 11 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.69 ± 0.10 – 3.17 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 7 มีอัตราการกินอาหารสูงที่สุดอยู่ในช่วง 3.09 ± 0.04 – 3.17 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 ซึ่งมีอัตราการกินอาหารอยู่ในช่วง 2.80 ± 0.04 – 2.93 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีอัตราการกินอาหารต่ำที่สุดคือ 2.69 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน อัตราการกินอาหารของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตรมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($P<0.05$)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และอัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 โดยอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าอยู่ในช่วง 1.35 ± 0.04 – 1.55 ± 0.09 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 1.98 ± 0.11 – 2.26 ± 0.07 การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิมีค่าอยู่ในช่วง 31.01 ± 0.27 – 35.53 ± 0.13 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการรอดตายมีค่าอยู่ในช่วง 86.67 ± 7.64 – 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 11 อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (ANPU) และอัตราการรอดตายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน)	FCR	PER	ANPU (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
T_1 ไม่เสริกรดไขมัน	2.84 ± 0.01^{bc}	1.55 ± 0.09^{a}	1.98 ± 0.11^{a}	31.12 ± 1.71^{a}	87.50 ± 3.53^{a}
T_2 18:0 6 %	2.69 ± 0.10^{c}	1.45 ± 0.05^{a}	2.11 ± 0.07^{a}	34.16 ± 0.78^{a}	92.50 ± 3.53^{a}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	3.09 ± 0.04^{a}	1.49 ± 0.04^{a}	2.08 ± 0.06^{a}	32.18 ± 0.95^{a}	95.00 ± 5.00^{a}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	2.93 ± 0.10^{b}	1.35 ± 0.04^{a}	2.26 ± 0.07^{a}	35.46 ± 1.01^{a}	97.50 ± 3.53^{a}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	2.80 ± 0.04^{bc}	1.42 ± 0.00^{a}	2.24 ± 0.01^{a}	35.53 ± 0.13^{a}	95.00 ± 0.00^{a}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	2.90 ± 0.09^{b}	1.49 ± 0.16^{a}	2.08 ± 0.21^{a}	32.61 ± 3.28^{a}	86.67 ± 7.64^{a}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	3.17 ± 0.01^{a}	1.46 ± 0.01^{a}	2.10 ± 0.02^{a}	31.01 ± 0.27^{a}	100.00 ± 0.00^{a}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$)

3. องค์ประกอบทางเคมีของปลา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาก่อนเริ่มต้นทดลอง พบว่า มีความชื้น 77.63 ± 0.15 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 12.31 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 25.57 ± 1.34 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 59.38 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร ความชื้นมีค่าระหว่าง 73.20 ± 0.26 – 73.72 ± 0.38 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 12) ปริมาณเถ้าของปลาทั้งตัว มีค่าระหว่าง 10.68 ± 0.06 – 13.13 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ปริมาณไขมันมีค่าระหว่าง 25.71 ± 1.64 – 32.87 ± 0.86 เปอร์เซ็นต์ และมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนโปรตีนของปลาทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าระหว่าง 55.26 ± 0.10 – 59.33 ± 0.68 เปอร์เซ็นต์ และมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 12)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 13) กล่าวคือ ปริมาณความชื้นของเนื้อปลามีค่าระหว่าง 76.88 ± 1.21 – 79.86 ± 1.22 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าของเนื้อปลามีค่าอยู่ในช่วง 5.02 ± 0.03 – 5.60± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไขมันของเนื้อปลามีค่าอยู่ในช่วง 12.69 ± 0.55 – 15.21 ± 0.72 และโปรตีนของเนื้อปลามีค่าระหว่าง 80.65 ± 0.10 – 84.79 ± 0.71 เปอร์เซ็นต์

ส่วนปริมาณไขมันในตับปลา มีค่าระหว่าง 35.44 ± 0.23 – 40.73 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($P >0.05$) (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)			
	ความชื้น	เถ้า[2]	ไขมัน[2]	โปรตีน[2]
ปลาก่อนทดลอง	77.63 ± 0.15	12.31 ± 0.05	25.57 ± 1.34	59.38 ± 0.09
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	73.61 ± 0.27^{a}	12.72 ± 0.14^{ab}	25.71 ± 1.64^{c}	57.95 ± 0.64^{b}
T_2 18:0 6 %	73.50 ± 0.16^{a}	13.13 ± 0.06^{a}	27.05 ± 1.50^{c}	59.33 ± 0.68^{a}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	73.72 ± 0.38^{a}	11.68 ± 0.66^{c}	29.42 ± 0.84^{b}	57.70 ± 0.15^{bc}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	73.40 ± 0.12^{a}	11.93 ± 0.03^{c}	29.58 ± 0.45^{b}	57.69 ± 0.60^{bc}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	73.38 ± 0.05^{a}	12.14 ± 0.23^{c}	28.84 ± 0.26^{b}	57.97 ± 0.49^{b}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	73.20 ± 0.26^{a}	12.21 ± 0.22^{bc}	29.63 ± 1.70^{b}	57.12 ± 0.34^{c}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	73.70 ± 0.05^{a}	10.68 ± 0.06^{d}	32.87 ± 0.86^{a}	55.26 ± 0.10^{d}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

[2]คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากดเหลือง ที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)			
	ความชื้น	เถ้า[2]	ไขมัน[2]	โปรตีน[2]
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	79.23 ± 0.50^{ab}	5.60 ± 0.02^{a}	12.69 ± 0.55^{c}	84.79 ± 0.71^{a}
T_2 18:0 6 %	79.86 ± 1.22^{a}	5.46 ± 0.03^{b}	13.48 ± 1.21^{bc}	83.33 ± 0.87^{b}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	76.88 ± 1.21^{c}	5.02 ± 0.03^{d}	15.21 ± 0.72^{a}	80.65 ± 0.10^{d}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	78.44 ± 1.00^{abc}	5.31 ± 0.04^{c}	13.85 ± 1.20^{bc}	82.60 ± 0.43^{bc}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	78.42 ± 0.57^{abc}	5.31 ± 0.12^{c}	14.14 ± 0.56^{ab}	82.16 ± 0.15^{c}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	78.33 ± 0.49^{abc}	5.05 ± 0.06^{d}	14.46 ± 0.20^{ab}	82.19 ± 0.47^{c}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	77.95 ± 0.90^{bc}	5.39 ± 0.07^{bc}	14.18 ± 0.14^{ab}	82.28 ± 0.83^{c}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

[2]คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$)

ตารางที่ 14 ปริมาณไขมันในตับของปลากดเหลือง ที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

ชนิดและปริมาณไขมันในสูตรอาหาร	ปริมาณไขมันในตับปลา[2] (เปอร์เซ็นต์)
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	35.44 ±0.23[a]
T_2 18:0 6 %	36.71 ± 1.10 [a]
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	39.56 ± 2.99[a]
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	40.73 ± 0.06[a]
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	35.91 ± 0.24[a]
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	39.33 ± 2.35[a]
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	39.98 ± 2.13[a]

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

[2]คำนวณจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

4. การศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันในตัวปลา

ผลการศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันจากตับปลากดเหลือง ดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรยกเว้นปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 พบองค์ประกอบกรดโอลีอิค (18:1ω-9) มากที่สุดคิดเป็นปริมาณ 36.58 – 48.65 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบกรดปาลมิติค (16:0) พบมากรองลงมาคิดเป็นปริมาณ 26.42 – 31.46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 พบองค์ประกอบกรดปาลมิติคมากที่สุดคิดเป็นปริมาณ 30.90 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบกรดไขมันชนิดโอลีอิคพบมากรองลงมาคิดเป็นปริมาณ 27.10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรยกเว้นปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 5 พบองค์ประกอบกรดไอโคซีโนอิค (20:1ω-9) คิดเป็นปริมาณ 1.29 – 2.69 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 พบกรดไขมันชนิดดังกล่าวมากที่สุดคิดเป็นปริมาณ 2.69 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 คิดเป็นปริมาณ 1.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 พบองค์ประกอบกรดไอโคซะไตรอีโนอิค (20:3ω-9) คิดเป็นปริมาณ 1.44 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 พบองค์ประกอบกรดอะราชิโดนิค (20:4ω-6) คิดเป็นปริมาณ 2.87 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 พบองค์ประกอบกรดลิโนลีอิค (18:2ω-6) คิดเป็นปริมาณ 0.95 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรอื่นๆไม่พบองค์ประกอบกรดไขมันชนิดนี้

ตารางที่ 15 องค์ประกอบกรดไขมันในตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)						
	ไม่เสริมกรดไขมัน	18:0 6%	18:0 5% +18:2ω-6 1%	18:0 5.5% +18:2ω-6 0.5%	18:0 5% +18:3ω-3 1%	18:0 5.5% +18:3ω-3 0.5%	18:0 5% +18:2ω-6 0.5% +18:3ω-3 0.5%
	(T_1)	(T_2)	(T_3)	(T_4)	(T_5)	(T_6)	(T_7)
14:0	3.302	2.087	2.101	2.043	2.649	2.264	1.973
15:0	-	-	-	-	-	-	-
16:0	30.480	28.596	31.463	29.706	30.898	28.434	26.425
16:1ω-5	-	-	-	-	-	-	-
16:1ω-7	6.936	8.792	6.692	6.959	6.310	6.820	6.202
17:0	-	-	-	-	-	-	-
18:0	8.898	7.366	8.558	8.418	-	9.290	9.389
18:1ω-6	-	-	-	-	-	-	-
18:1ω-9	36.582	47.320	48.648	47.888	27.101	45.117	47.790
18:1ω-10	-	-	-	-	26.186	-	-
18:2ω-6	-	-	-	-	-	-	0.954
18:3ω-3	-	-	-	-	-	-	-
20:0	-	-	-	-	-	-	-
20:1ω-9	1.985	2.694	-	1.585	-	1.293	1.579
20:2ω-7	-	-	-	-	0.439	-	-
20:2ω-9	-	-	-	-	-	-	-
20:3ω-7	-	-	-	-	0.577	-	-
20:3ω-9	-	-	-	-	1.439	-	-
20:2ω-6	-	-	-	-	-	-	-
20:4ω-6	2.871	-	-	-	-	-	-
20:3ω-3	-	-	-	-	-	-	-
20:4ω-3	-	-	-	-	-	-	-
20:5ω-3	-	-	-	-	-	-	-
22:1	-	-	-	-	-	-	-
22:5ω-6	-	-	-	-	-	-	-
22:5ω-3	-	-	-	-	-	-	-
22:6ω-3	-	-	-	-	-	-	-

5. การศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยา

ตับ

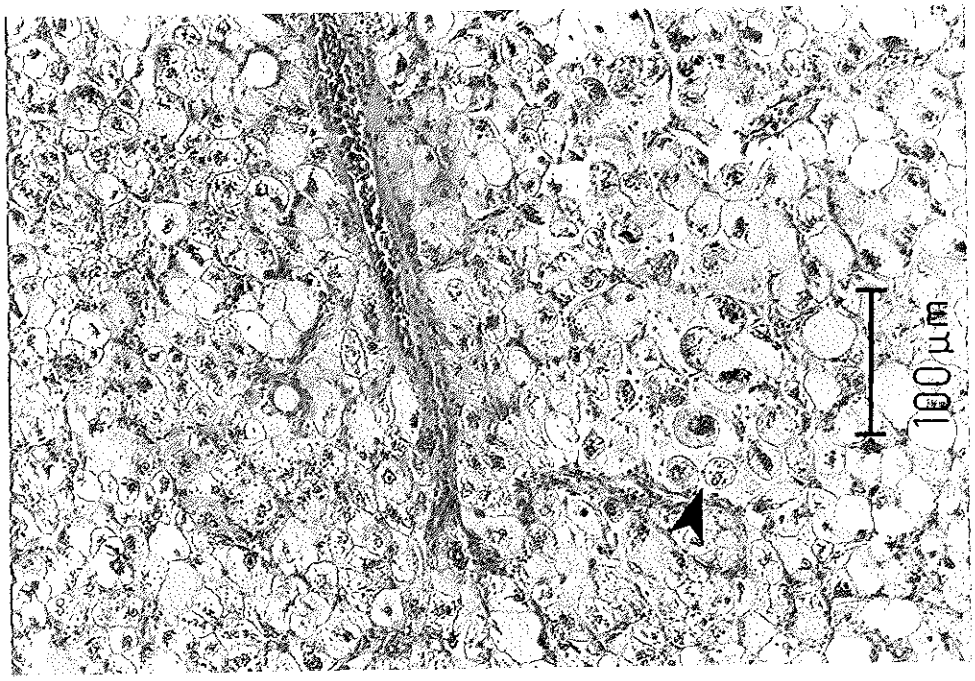
จากการศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยาของเนื้อเยื่อตับ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีความผิดปกติเกิดขึ้น กล่าวคือเซลล์ตับมีรูปร่างผิดปกติ ขอบเขตของเซลล์ไม่ชัดเจน บางเซลล์มีลักษณะรูปร่างค่อนข้างกลม พบกรานูล (granule) ในไซโตพลาสซึมของเซลล์โดยย้อมติดสีเข้ม (ภาพที่ 3) พบช่องว่างอยู่ภายในเซลล์เป็นจำนวนมาก ในบางเซลล์พบช่องว่างเล็กๆคล้ายหยดไขมันจำนวนมากภายในไซโตพลาสซึมจนดันนิวเคลียสไปอยู่ที่ขอบของเซลล์ นิวเคลียสของบางเซลล์ฝ่อหรือมีขนาดเล็กลงซึ่งเป็นลักษณะของเซลล์ที่ตาย (ภาพที่ 4)

ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีความผิดปกติของเซลล์ตับคล้ายกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 กล่าวคือตรวจพบเซลล์ตับมีรูปร่างผิดปกติ ขอบเขตของเซลล์ไม่ชัดเจน เซลล์ตับจำนวนมากมีลักษณะรูปร่างกลม พบช่องว่างขนาดเล็กภายในไซโตพลาสซึมจนดันนิวเคลียสไปอยู่ที่ขอบของเซลล์ (ภาพที่ 5) เซลล์ตับมีการเสื่อมสลายและพบการรวมตัวของเซลล์หลายเซลล์จนเกิดลักษณะของ multinuclei (ภาพที่ 6)

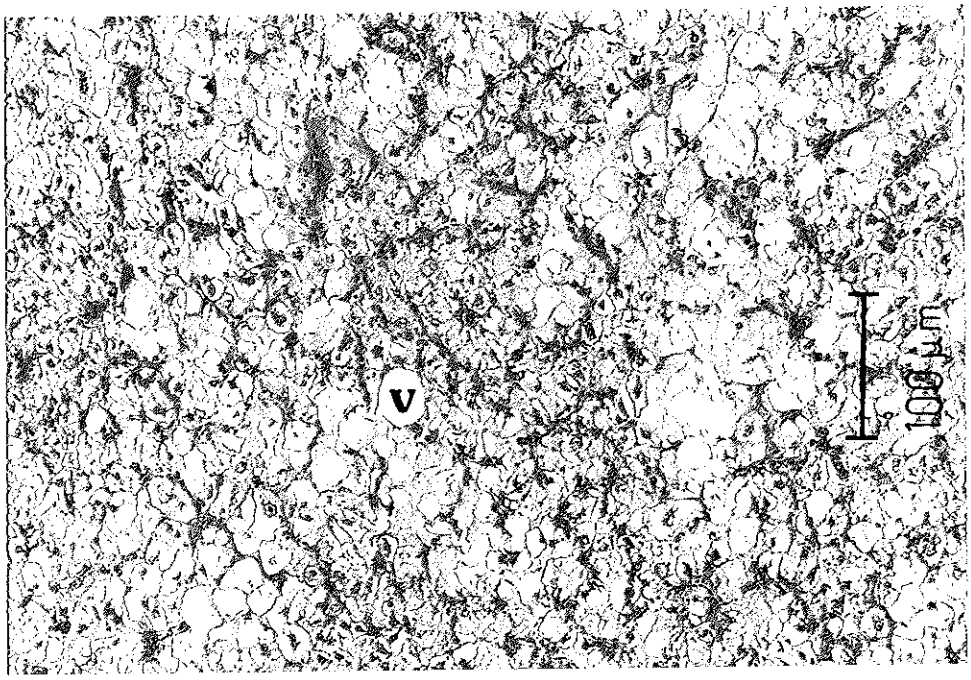
ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 4 เซลล์ตับส่วนใหญ่ปกติ (ภาพที่ 7) มีบางเซลล์ตรวจพบช่องว่างภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์ แต่น้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 (ภาพที่ 8)

ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 พบว่าพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับมีการสะสมไขมันอยู่บ้าง (ภาพที่ 9)

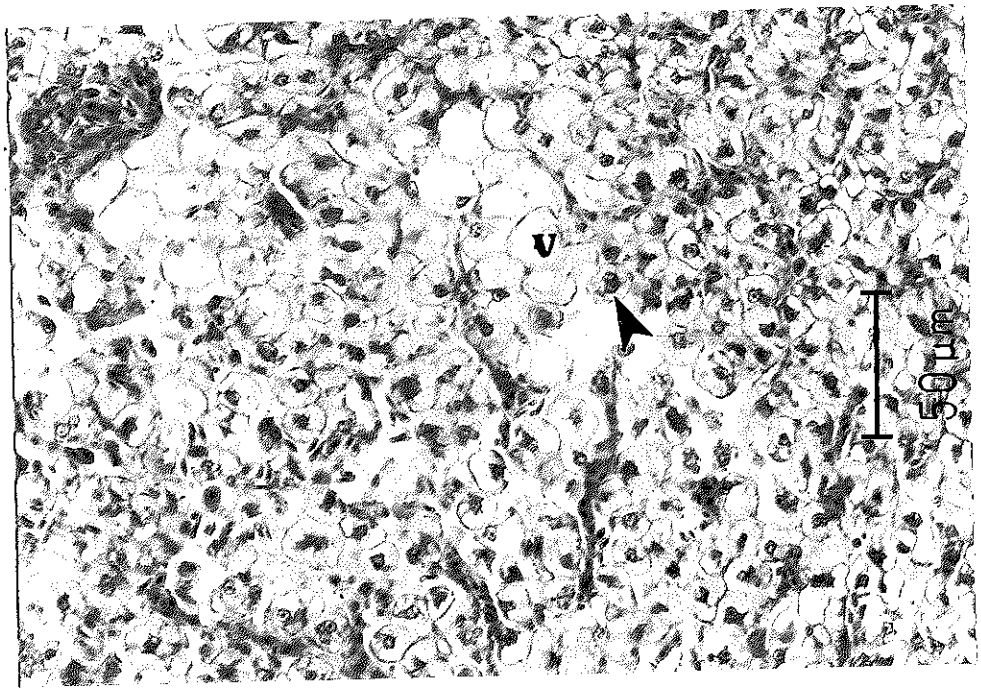
ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 และ 7 พบว่าพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับค่อนข้างปกติ มีช่องว่างเกิดขึ้นในไซโตพลาสซึมบ้าง แต่มีปริมาณน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 (ภาพที่ 10)



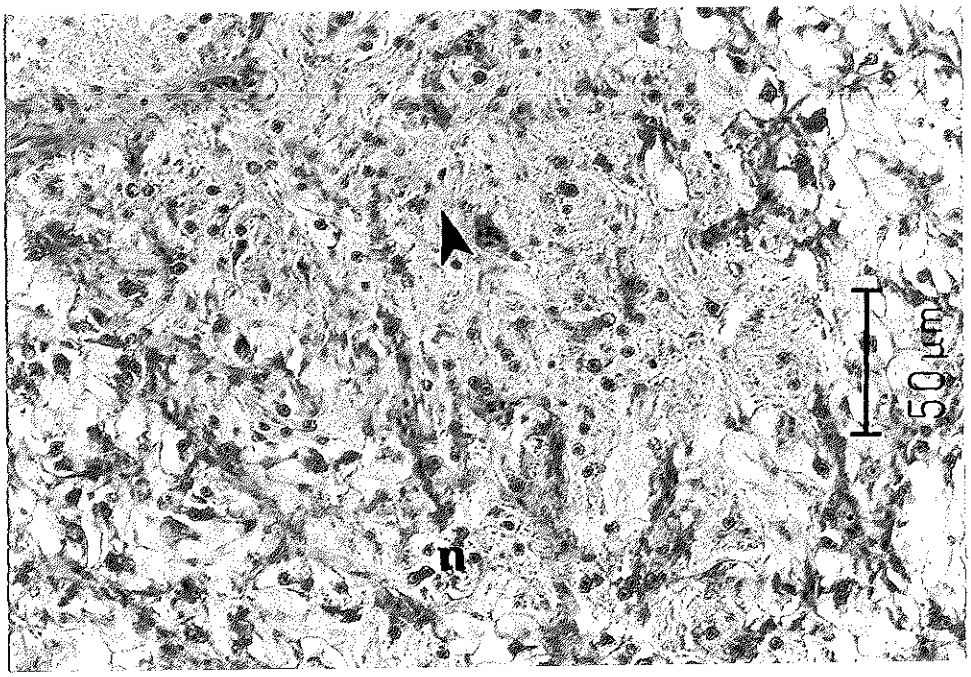
ภาพที่ 3 เซลล์ตับมีรูปร่างผิดปกติ บางเซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม (หัวลูกศรชี้) และพบกรานูลในไซโตพลาสซึมของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมัน (สูตรที่ 1) (Hematoxylin & Eosin)



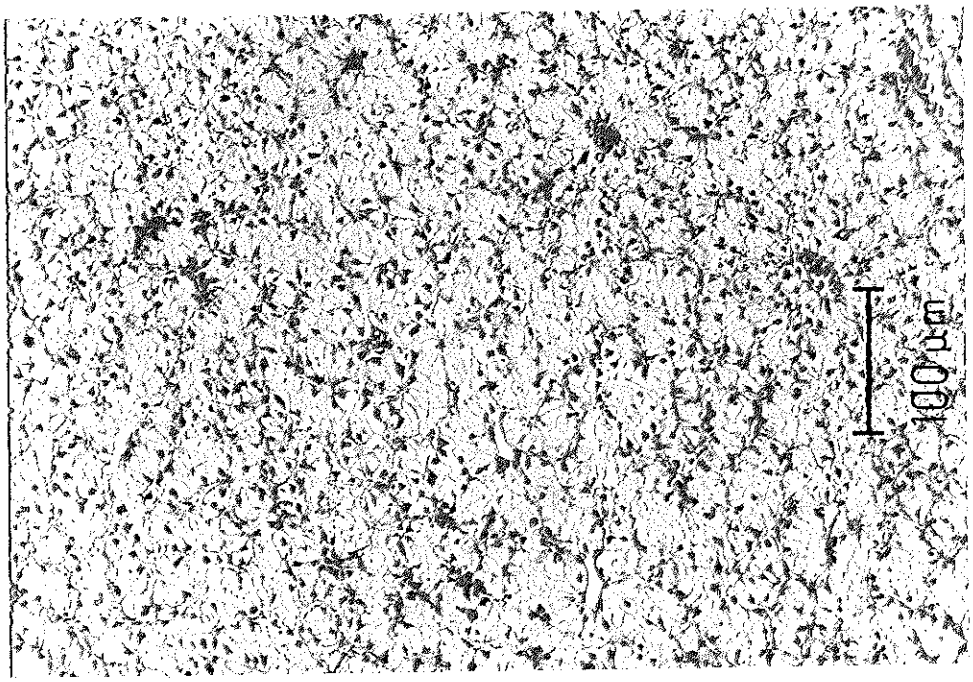
ภาพที่ 4 การเกิดช่องว่าง (v) ในเนื้อเยื่อตับของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมัน (สูตรที่ 1) (Hematoxylin & Eosin)



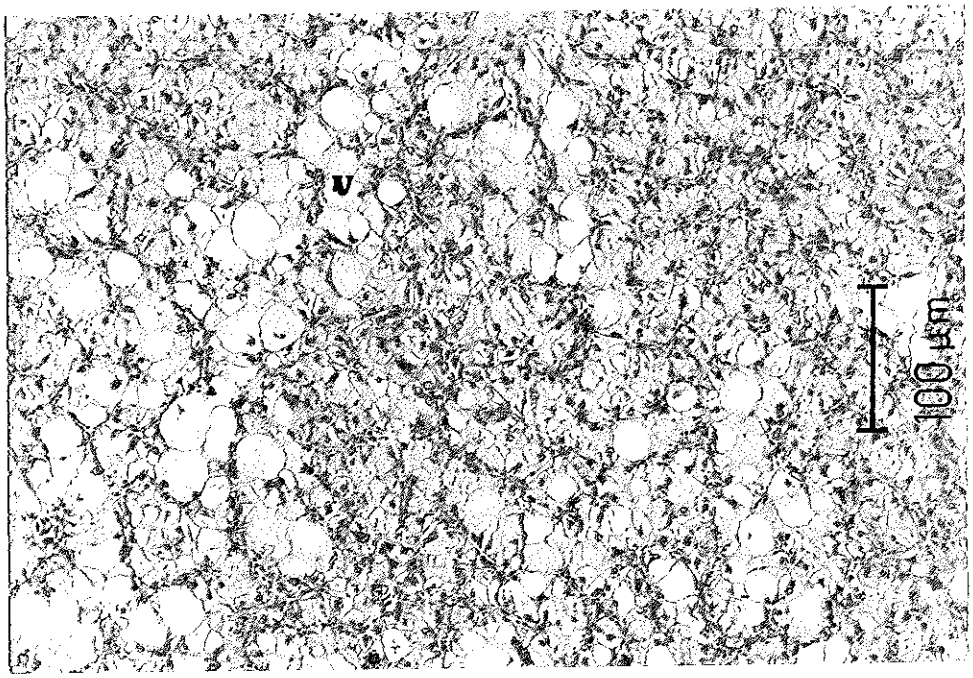
ภาพที่ 5 เซลล์ตับจำนวนมากมีรูปร่างค่อนข้างกลม (หัวลูกศรชี้) และพบช่องว่าง (v) ภายในไซโตพลาสซึมของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมันจำเป็น (สูตรที่ 2) (Hematoxylin & Eosin)



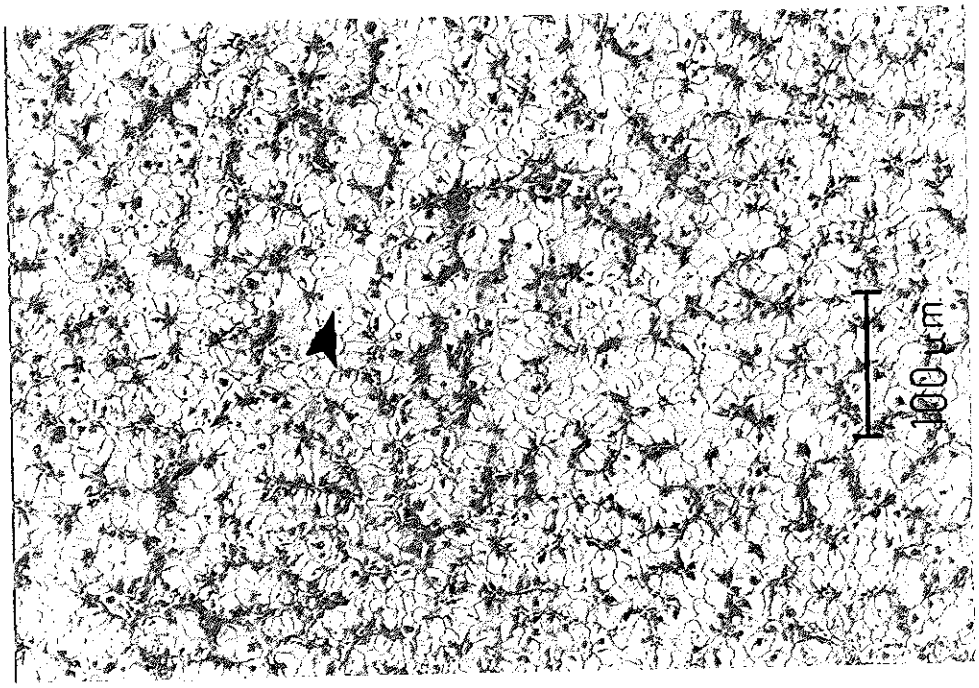
ภาพที่ 6 เซลล์ตับมีการเสื่อมสลาย (หัวลูกศรชี้) และพบการรวมตัวของเซลล์หลายเซลล์จนเกิดลักษณะของ multinuclei (n) พบในปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมันจำเป็น (สูตรที่ 2) (Hematoxylin & Eosin)



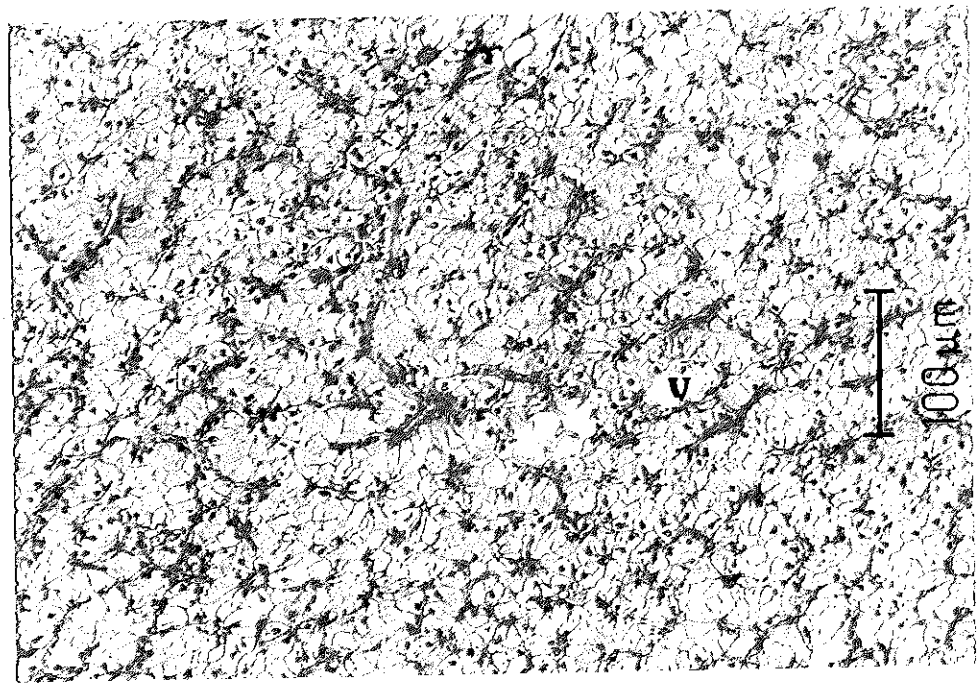
ภาพที่ 7 เซลล์ตับบริเวณที่ปกติของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3 และ 4) (Hematoxylin & Eosin)



ภาพที่ 8 การเกิดช่องว่าง (v) ในเนื้อเยื่อบางส่วนของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 3 และ 4) (Hematoxylin & Eosin)



ภาพที่ 9 ไขมันแทรกในเนื้อเยื่อตับ (หัวลูกศรชี้) ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิคที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 5) (Hematoxylin & Eosin)



ภาพที่ 10 การเกิดช่องว่าง (v) ในเนื้อเยื่อบางส่วนของเนื้อเยื่อตับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิคที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 6) และเสริมกรดลิโนลีอิคกับกรดลิโนลีนิคอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 7) (Hematoxylin & Eosin)

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่จำเป็นมีผลต่อปลากดเหลือง โดยปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมัน (อาหารสูตรที่ 1) มีการเจริญเติบโตดีในช่วงแรก แต่เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 8 การเจริญเติบโตเริ่มลดลง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 10 พบว่ามีการเจริญเติบโตต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดไขมันในชุดการทดลองอื่นๆ กล่าวคือ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานในปลาอื่นๆ เช่น ปลาดุกลูกผสม (วิมล และพิศมัย, 2538) ปลาคาร์พ (*C. carpio*) (Watanabe *et al.*, 1975a, 1975b) ปลาเรนโบว์เทราท์ (Watanabe *et al.*, 1974) ปลาไวท์ฟิช (Thongrod *et al.*, 1989; Watanabe *et al.*, 1989) ปลาเรดซีบรีม (Yone and Fujii, 1975; Fujii and Yone, 1976; Takeuchi *et al.*, 1990) ปลายามาเมะ (Thongrod *et al.*, 1990) และปลาคาร์พ (*C. catla*) (Mukhopadhyay and Rout, 1996) นอกจากนี้ปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีแนวโน้มสูง ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิมีแนวโน้มต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติปลาจะใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและใช้โปรตีนสำหรับการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ (Mukhopadhyay and Rout, 1996) แต่เมื่อปลาได้รับอาหารที่ขาดไขมัน ทำให้อาหารมีพลังงานต่ำไม่เพียงพอกับความต้องการของปลาจึงต้องใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงานทดแทน แต่อย่างไรก็ตามไม่พบอาการช็อคหรือครีบกร่อน ดังมีรายงานในปลาเรนโบว์เทราท์ (Watanabe *et al.*, 1974) หรือครีบหางและครีบหลังเน่าเปื่อย หรือขากรรไกรล่างกร่อนในปลาเทอร์บอต (Sargent *et al.*, 1989)

เมื่อเสริมกรดสเตียริคในอาหารเพียงอย่างเดียวที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ (อาหารสูตรที่ 2) เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับปลา ไม่ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีขึ้นกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมัน ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานในปลาเรนโบว์เทราท์ (Watanabe *et al.*, 1974) ปลาคาร์พ (*C. carpio*) (Watanabe *et al.*, 1975b) และปลานิล (*T. zillii*) (Kanazawa *et al.*, 1980) ที่ใช้กรดลอริค (lauric acid, 12:0) เป็นกรดไขมันเสริมในอาหารเพียงอย่างเดียวที่ระดับ

5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทำให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำเช่นเดียวกัน เนื่องจากทั้งกรดสเตียริคและกรดลอริคเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและไม่ใช่กรดไขมันจำเป็นในปลา และคุณสมบัติของกรดไขมันอิ่มตัวนั้นเมื่อมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นด้วย (Sargent *et al.*, 1989) จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ปลาย่อยกรดไขมันดังกล่าวได้ไม่ดีและประสิทธิภาพการย่อยมีค่าต่ำ

การเสริมกรดลิโนลีอิค (โอเมกา-6) ลงในอาหารทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (อาหารสูตรที่ 4) ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ (อาหารสูตรที่ 3) แสดงว่าการเสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์เป็นระดับที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตในปลากดเหลือง ส่วนการเสริมกรดลิโนลีนิค (โอเมกา-3) ที่ระดับ 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (อาหารสูตรที่ 5 และ 6) พบว่าปลามีการเจริญเติบโตที่ต่ำมากเช่นเดียวกับปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันหรือขาดกรดไขมันจำเป็น (เสริมกรดสเตียริคเพียงอย่างเดียว) นอกจากนั้นการเสริมกรดไขมัน 2 ชนิดทั้งกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (อาหารสูตรที่ 7) พบว่าการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองก็ไม่ได้ดีขึ้น จึงกล่าวได้ว่ากรดลิโนลีอิคเป็นกรดไขมันจำเป็นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองได้ดีกว่ากรดลิโนลีนิค เช่นเดียวกับที่ Kanazawa และคณะ (1980) รายงานว่ากรดลิโนลีอิคมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (*T. zillii*) มากกว่ากรดลิโนลีนิคและกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิค และปลาชนิดนี้ต้องการกรดลิโนลีอิคประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ Takeuchi และคณะ (1983a) รายงานว่ากรดลิโนลีอิคเป็นกรดไขมันจำเป็นในปลานิล (*T. nilotica*) และต้องการในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาของ Viola และคณะ (1988) พบว่าการให้อาหารที่มีน้ำมันปลาซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมกา-3 สูง ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล นอกจากนั้น Takeuchi และคณะ (1983b) ทดลองใช้ไขมันหลายๆชนิดต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (*T. nilotica*) พบว่าน้ำมันตับปลาพอลลอคไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล ส่วนแหล่งของไขมันที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลืองเนื่องจากทั้ง 2 ชนิดมีกรดลิโนลีอิคสูง ส่วนปลาดุกลูกผสมต้องการกรดไขมันทั้งกลุ่มโอเมกา-6 และโอเมกา-3 ประมาณ 1.0-1.6 และ 0.8-0.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (วิมล และพิศมัย, 2538) ปลาคาร์พ (*C. carpio*) ต้องการกรดไขมันจำเป็นทั้งกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิค (Watanabe *et al.*, 1975b) ปลาคาร์พ (*C. catla*) ต้องการกรดไขมัน

จำเป็นทั้งกลุ่มโอเมกา-6 และโอเมกา-3 (Mukhopadhyay and Rout, 1996) ส่วนปลากดอเมริกันต้องการกรดไขมันทั้งกลุ่มโอเมกา-6 และโอเมกา-3 ประมาณ 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1983) กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคและโดโคซะเฮกซะอีโนอิคมีผลต่อการเจริญเติบโตดีกว่ากรดลิโนลีนิค (Satoh *et al.*, 1989) และต้องการกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิค ในปริมาณที่ต่ำกว่าปลาเรนโบว์เทราท์ แต่ถ้ามีกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิค (ซึ่งพบมากในน้ำมันดอกคำฝอยและลินสีด) มากเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร จะทำให้ปลากดอเมริกันมีการเจริญเติบโตได้ไม่ดี ส่วนกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิคแม้ว่าจะมีสูงมากถึง 4 เปอร์เซ็นต์ ก็ยังทำให้ปลามีการเจริญเติบโตได้ดี (Stickney *et al.*, 1983) ส่วนปลาทะเลและปลาในเขตหนาวชนิดอื่นๆนั้น กรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 มักมีความจำเป็นมากกว่ากลุ่มโอเมกา-6 เช่นที่มีรายงานในปลาเรนโบว์เทราท์ (Watanabe *et al.*, 1974) ปลาชัมซัลมอน (Takeuchi *et al.*, 1979) ปลาไวท์ฟิช (Watanabe *et al.*, 1989) ปลายามาเมะ (Thongrod *et al.*, 1990) และปลาเรดซีบรีม (Takeuchi *et al.*, 1990) เป็นต้น

นอกจากนี้จากการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันและขาดกรดไขมันจำเป็น (เสริมกรดสเตียริคเพียงอย่างเดียว) อัตราการกินอาหารมีค่าต่ำ และดัชนีตับต่อตัวมีค่าสูง เนื่องจากมีไขมันปริมาณมากสะสมในตับ ทำให้ตับมีขนาดใหญ่และซีด ซึ่งเป็นอาการของปลาที่ขาดกรดไขมันจำเป็น สอดคล้องกับที่มีรายงานในปลายามาเมะ (Thongrod *et al.*, 1990) ปลาเรดซีบรีม (Takeuchi *et al.*, 1990) และปลากลุ่มซัลมอน (Henderson and Tocher, 1987) การเสริมกรดไขมันลิโนลีอิคและ/หรือกรดลิโนลีนิคในอาหารทดลองทำให้อัตราการกินอาหารของปลาดีขึ้น ยกเว้นกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิคที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ที่มีอัตราการกินอาหารต่ำ อัตราการกินอาหารของปลามีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของปลา กล่าวคือปลาที่มีอัตราการกินอาหารสูงก็จะมีการเจริญเติบโตที่ดี ส่วนปลาที่มีอัตราการกินอาหารต่ำก็จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ต่ำด้วยเช่นกัน ดังที่พบรายงานในปลาเรดซีบรีม (Fujii and Yone, 1976) นอกจากนี้การเสริมกรดลิโนลีอิคทำให้ค่าดัชนีตับต่อตัวลดลง และการเสริมกรดลิโนลีนิคทำให้ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลามีแนวโน้มลดลง แสดงว่าเมื่อปลาได้รับอาหารที่เสริมกรดไขมันจำเป็นทำให้ช่วยลดอาการขาดกรดไขมันจำเป็นในตัวปลาได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Watanabe และคณะ (1974) ที่ศึกษาในปลาเรนโบว์เทราท์ ที่พบว่าเมื่อเสริมกรดไขมันจำเป็นลงในอาหารทำให้ค่าดัชนีตับต่อตัวลดลง แต่อย่างไรก็ตามการเสริมกรดไขมันลิโนลีอิคและ/หรือกรดลิโนลีนิคในอาหาร ไม่มีผลต่ออัตรา

การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และอัตราการรอดของปลา

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีในตัวปลาและเนื้อปลาของปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันและขาดกรดไขมันจำเป็น (เสริมกรดสเตียริคเพียงอย่างเดียว) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ พบว่าปริมาณความชื้นของตัวปลาไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในเนื้อปลามีความชื้นค่อนข้างสูง ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆของตัวปลาและเนื้อปลา พบว่ามีปริมาณเถ้าสูงมาก ส่วนไขมันมีค่าต่ำและโปรตีนมีค่าสูง มีรายงานในปลาอื่นๆ เช่น ปลาเรนโบว์เทราท์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันและขาดกรดไขมันจำเป็น มีความชื้นสูง ระดับโปรตีนและไขมันในทุกๆส่วนมีค่าต่ำ แต่องค์ประกอบไขมันที่สะสมในตับปลามีปริมาณสูง (Watanabe *et al.*, 1974, Takeuchi and Watanabe 1977b) ปลาไวท์ฟิช (Watanabe *et al.*, 1989; Thongrod *et al.*, 1990) มีองค์ประกอบไขมันสะสมในตัวปลาในปริมาณสูง ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานในปลาเรดซีบรีม (Takeuchi *et al.*, 1990) แต่มีรายงานว่าในปลาคาร์พ (*C. carpio*) กลุ่มที่ได้รับอาหารที่ขาดกรดไขมันและขาดกรดไขมันจำเป็นมีแนวโน้มการเพิ่มองค์ประกอบไขมัน ส่วนระดับโปรตีนในตัวปลามีแนวโน้มลดลง แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันขององค์ประกอบโปรตีนและไขมันในตัวปลา (Watanabe *et al.*, 1975a, 1975b)

ปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดไขมันจำเป็นโอเมกา-6 และ/หรือโอเมกา-3 ในตัวปลาและเนื้อปลามีปริมาณไขมันสูงและระดับโปรตีนต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากปลาชนิดนี้ต้องการไขมันในระดับที่ต่ำมาก และการเสริมไขมันที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ อาจสูงเกินความต้องการของปลา จึงเกิดการสะสมไขมันในตัวปลาสูงและทำให้ปลาอ้วนซึ่งมีผลต่อเนื่องไปยังคุณภาพซาก (carcass quality) และปลาสะสมกรดไขมันในอวัยวะต่างๆเช่น เรตินา เส้นประสาท สมอง ตับ และกล้ามเนื้อ และภายในตับมีเอนไซม์หลายชนิดที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์กรดไขมัน จึงทำให้สังเคราะห์กรดไขมันได้มากและมีผลทำให้กรดไขมันที่เหลือใช้สะสมในตับโดยตรง และปลาสามารถนำกรดไขมันที่สะสมมาเผาผลาญให้เป็นพลังงานได้เมื่อร่างกายขาดอาหาร มีรายงานว่าปลาชนิดอื่นๆ ดังเช่นปลากดอเมริกัน (Dupree, 1969) ปลาเรนโบว์เทราท์ (Watanabe *et al.*, 1979) ปลาเรดดรัม (red drum. *Sciaenops ocellatus*) (Williams and Robinson, 1988) และปลากดเหลือง (Anwar and Jafri, 1995) ต้องการกรดไขมันในระดับที่

เหมาะสมในอาหารปลาอยู่ในช่วง 6 - 11 เปอร์เซ็นต์ เพราะที่ระดับไขมันดังกล่าวปลาสามารถใช้โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการเจริญเติบโตที่เป็นปกติ

องค์ประกอบกรดไขมันในตับปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตร ชนิดกรดไขมันที่พบมากคือ 16:0 ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและ 18:1 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี 1 พันธะคู่ เช่นเดียวกับที่พบรายงานในปลาชนิดอื่นๆ คือ ปลากิลท์เฮดซีบรีม (Ibeas *et al.*, 1996; Rodriguez *et al.*, 1998) ปลานิลสีแดงลูกผสม (hybrid red tilapia, *O. mossambicus* x *O. niloticus*) (De Silva *et al.*, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ De Silva และ Anderson (1995) ที่รายงานว่าโดยทั่วไปในพืชชั้นสูงและสัตว์ชนิดต่างๆพบกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 16 และ 18 เป็นองค์ประกอบหลัก และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรพบกรดไขมัน 18:1ω-9 ในปริมาณสูง และยังพบกรดไขมัน 20:1ω-9 ยกเว้นกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีอิค 1 เปอร์เซ็นต์ และเสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์แต่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ พบกรดไขมัน 20:3ω-9 ซึ่งทั้งกรดไขมัน 20:1ω-9 และ 20:3ω-9 อาจเปลี่ยนแปลงมาจาก 18:1ω-9 โดยการเพิ่มจำนวนคาร์บอนอะตอมและเพิ่มพันธะคู่ (Sargent *et al.*, 1989) และปลากลุ่มที่ได้รับอาหารขาดไขมัน หรือขาดกรดไขมันจำเป็น และได้รับอาหารเสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีกรดไขมัน 20:1ω-9 หรือ 20:3ω-9 ในปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารเสริมกรดไขมันจำเป็นในกลุ่มอื่นๆเป็นปลาที่มีการเจริญเติบโตต่ำ จากปริมาณและชนิดของกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้ในตับปลา กล่าวได้ว่าปลากดเหลืองสามารถใช้กรดลิโนลีอิคเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็นและการเสริมกรดไขมันนี้ในอาหารที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ก็เพียงพอที่ทำให้การเจริญเติบโตของปลาดีอีกทั้งไม่พบการสะสมของกรดไขมันนี้ในตับอาจเนื่องจากได้ถูกปลานำไปใช้หมด นอกจากนี้กล่าวได้ว่าปลาชนิดนี้ใช้กรดลิโนลีนิคเพื่อการเจริญเติบโตได้ไม่ดี อีกทั้งปลาที่ได้รับกรดไขมันนี้ทั้ง 2 ระดับ (0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์) ไม่มีการสะสมของกรดไขมันนี้ในตับ การเสริมกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ลงในอาหารไม่ได้ช่วยให้การเจริญเติบโตของปลาดีกว่าการเสริมกรดลิโนลีอิค 0.5 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับที่ Thongrod และคณะ (1990) รายงานว่าการเสริมกรดไขมันโอเมกา-3 และ/หรือโอเมกา-6 ลงในอาหารช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตในปลายามาเมะและการเสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด แต่การเสริมกรดลิโนลีอิคและกรดลิโนลีนิคอย่างละ 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่ช่วยให้การเจริญเติบโต

ของปลาดีกว่าการเสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว และจากการศึกษาครั้งนี้ การเสริมกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดลงในอาหารปลากลับตรวจพบการสะสมของกรดลิโนลีอิคในตับปลาอาจเป็นเพราะปลาดึงเอากรดลิโนลีนิคไปใช้ประโยชน์ร่วมกับกรดลิโนลีอิค แสดงให้เห็นว่าปลากดเหลืองมีความต้องการกรดลิโนลีอิคมากกว่ากรดลิโนลีนิคสำหรับการเจริญเติบโตและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sargent และคณะ (1989) ที่รายงานว่าปลาน้ำจืดต้องการกรดไขมันจำเป็นที่มีจำนวนคาร์บอนเพียง 18 อะตอม ซึ่งอาจจะเป็นกรดไขมันจำเป็นในกลุ่มโอเมกา-3 และ/หรือกลุ่มโอเมกา-6 ขึ้นกับชนิดของปลา

การศึกษาด้านเนื้อเยื่อวิทยา พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ขาดไขมันและขาดกรดไขมันจำเป็น พบพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับรุนแรงกว่ากลุ่มปลาที่ได้รับกรดไขมันจำเป็นโอเมกา-6 และ โอเมกา-3 ส่งผลทำให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานในปลาชนิดอื่นที่ขาดกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ ปลาเรนโบว์เทราท์ (Watanabe *et al.*, 1974) ปลาไวท์ฟิช (Watanabe *et al.*, 1989) นอกจากนี้พยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับมีลักษณะเหมือนกับปลาชนิดอื่นที่ขาดวิตามินซี ได้แก่ ปลานิล (Soliman *et al.*, 1986a, 1986b; Phromkunthong, 1994) ปลากิลท์เฮดบรีม (Alexis *et al.*, 1997) ปลากะพงขาว (sea bass, *Lates calcarifer*) (Phromkunthong *et al.*, 1997) ปลากดเหลือง (สุภฎา, 2541; สุภฎา และวุฒิพร, 2541; ปรีดา, 2542) พยาธิสภาพของเซลล์ตับ คือ เซลล์ตับมีรูปร่างผิดปกติ พบช่องว่าง (vacuole) ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ภายในตับจำนวนมากจนดันนิวเคลียสไปชิดขอบเซลล์ จากการตรวจพบช่องว่างในเซลล์ตับจำนวนมาก ถึงแม้ไม่สามารถระบุได้ว่าช่องว่างเหล่านี้คือไขมันเนื่องจากในกระบวนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยาไขมันที่มีในเนื้อเยื่อจะถูกล้างออกโดยแอลกอฮอล์จนหมด อย่างไรก็ตามจากการศึกษาทางจุลทรรศน์อิเลคตรอนของ Phromkunthong และคณะ (1995) ทำให้ทราบว่าช่องว่างจำนวนมากที่พบในเซลล์ตับเป็นไขมัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า กรดลิโนลีอิค (กลุ่มโอเมกา-6) เป็นกรดไขมันจำเป็นมีผลต่อการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อของตับในปลากดเหลือง โดยที่การเสริมกรดลิโนลีอิคที่ระดับ 0.5 – 1 เปอร์เซ็นต์ของอาหารทำให้ปลามีการเจริญเติบโต มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหารดีที่สุด และมีค่าดัชนีตับต่อตัวต่ำ แต่ข้อมูลอื่นๆ เช่น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และอัตราการรอดตายให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมและ/หรือไม่เสริมกรดไขมันอื่นๆ ส่วนองค์ประกอบกรดไขมันในปลากลุ่มที่มีการเจริญเติบโตต่ำ พบกรดไอโคซีโนอิคหรือกรดไอโคซะไตรอีโนอิคซึ่งเป็นปลาในกลุ่มที่ได้รับอาหารขาดกรดไขมันหรือขาดกรดไขมันจำเป็นและเสริมกรดลิโนลีนิค 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้กรดไขมันจำเป็นลิโนลีอิคที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลือง

เอกสารอ้างอิง

เฉิดฉัน อมาตยกุล, มาโนชญ์ เบญจกาญจน์, วสันต์ ศรีวัฒนะ, สุรางค์ สุมโนจิตราภรณ์, ประดิษฐ์ ศรีภัทราประสิทธิ์, ศราวุธ เจะโส๊ะ, อนันต์ สี่หิรัญวงศ์, สุวิมล สี่หิรัญวงศ์, สุขาวดี กสิสุวรรณ และวิศิษฏ์ ลีละวิวัฒน์. 2538. ปลากดเหลือง. กองประมงน้ำจืด. กรมประมง. กรุงเทพฯ. 56 หน้า.

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2541. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 178 หน้า.

ปรีดา ปัจฉิมทึก. 2542. ผลของระดับวิตามินซีต่อความต้านทานโรคในปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv.& Val.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 101 หน้า.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2535. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 1. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 207 หน้า.

โยธิน ลีลานนท์ และรังสิต แย้มเอิบสิน. 2524 ชีววิทยาของปลากดเหลืองในอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี. รายงานฉบับที่ 4. งานชีววิทยา ฝ่ายพัฒนาแหล่งน้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง. 33 หน้า.

วิมล จันทรโรทัย และพิศมัย สมสืบ. 2538. ระดับที่เหมาะสมของกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการแลกเนื้อของปลาดุกลูกผสม. ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย) 20 : 313-321.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 216 หน้า.

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2541. โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 221 หน้า.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, ประกอบ เส้งสีแดง และกิจการ ศุภมาตย์. 2540ก. ความต้องการวิตามินละลายน้ำในปลากดเหลือง (I) : ความต้องการวิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามินบีห้า และวิตามินซี. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 19 : 337-349.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, วิมล จันทรโรทัย, นรินทร์ สงสีจันทร์ และนพพร มานะจิตต์. 2540ข. ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 19 : 327-335.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, ทัศนีย์ นบนอบ, เรวดี สัจจกุล และกิจการ ศุภมาตย์. 2541. ผลของไขมันระดับต่างๆต่อการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ การใช้ประโยชน์จากอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 20 : 313-321.

สุพิศ ทองรอด. 2535. ความสำคัญของไขมันในอาหารสัตว์น้ำ. ว. การประมง 45 : 943-950.

สุภฎา คีรีรัฐนิคม. 2541. การศึกษารูปแบบและความเข้มข้นที่เหมาะสมของวิตามินซีที่ใช้ในอาหารปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv.& Val.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 133 หน้า.

สุภฎา คีรีรัฐนิคม และวุฒิพร พรหมขุนทอง. 2541. ความต้องการวิตามินละลายน้ำในปลากดเหลือง (III) : การศึกษารูปแบบของวิตามินซีที่ใช้ผสมในอาหาร. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 20 : 59-73.

Alava, V.R. and Kanazawa, A. 1996. Effect of dietary fatty acids on growth of milkfish *Chanos chanos* fry in brackish water. Aquaculture 144 : 363 - 369.

Alexis, M.N., Karanikolas, K.K. and Richards, R.H. 1997. Pathological finding owing to the lack of ascorbic acid in culture gilthead bream (*Sparus aurata* L.). Aquaculture 151 : 209-218.

Anwar, M.F. and Jafri, A.K. 1995. Effect of varying dietary lipid level on growth, feed conversion, nutrient retention and carcass composition of fingerling catfish, *Heteropneustes fossilis.* Asian Fish. Sci. 8 : 55-62.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1985. Official Methods of Analysis. AOAC. Washington, D.C. 1263 p.

Bancroft, J.D. 1967. Histochemical Techniques. Butterworths, London. 348 p.

Bell, M.V., Henderson, R.J. and Sargent, J.R. 1986. The role of polyunsaturated fatty acids in fish. Comp. Biochem. Physiol. 4 : 711-719.

Borlongan, I.G. and Benitez, L.V. 1992. Lipid and fatty acid composition of milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) grown in freshwater and seawater. Aquaculture 104 : 79-89.

Bronk, J.R. 1973. Biological Molecule and Cellular Organization Carbohydrates and Lipids in Biology : An Introduction to Biocheemistry. The Macmillian Company, New York. 667 p.

Castell, J.D., Lee, D.J. and Sinnhuber, R.O. 1972. Essential Fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) : lipid metabolism and fatty acid composition. J. Nutr. 102 : 93-100.

Castell, J.D., Bell, J.G., Tocher, D.R. and Sargent, J.R. 1994. Effect of purified diets containing different combination of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture 128 : 315-333.

De Silva, S.S. and Anderson, T.A. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman and Hall, London. 319 p.

De Silva, S.S., Gunasekera, R.M. and Austin, C.M. 1997. Changes in the fatty acid profiles of hybrid red tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, subjected to short-term starvation, and a comparison with changes in seawater raised fish. Aquaculture 153 : 273-290.

Dupree, H.K. 1969. Influence of corn oil and beef tallow on growth of channel catfish. United states Bureau of Sport and fisheries Wildlife Technical Paper 27, 13 pp.

Egan, H., Kirk, R.S. and Sawyer, R. 1981. Pearson's Chemical Analysis of Foods. 8th edition. Longman Scientific and Technical. 591 pp.

Fernandez-Palacios, H., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Valencia, A., Salhi, M. and Vergara, J.M. 1995. Effect of n-3 HUFA level in broodstock diet on egg quality of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). Aquaculture 132 : 325-337.

Folch, M., Lees M. and Stanley, G.H.S. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissue. J. Biol. Chem. 226 : 497-509.

Fujii, M. and Yone, Y. 1976. Studies on nutrition of red sea bream -XIII : Effect of dietary linolenic acid and ω3 polyunsaturated fatty acids on growth and feed efficiency. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 42 : 583-588.

Henderson, R.J. and Tocher, D.R. 1987. The lipid composition and biochemistry of fresh water fish. Prog. Lipid Res. 26 : 281-347.

Hepher, B. 1988. Nutrition of Pond Fishes. Cambridge University Press. New York. 388 pp.

Ibeas, C., Izquierdo, M.S. and Lorenzo, A. 1994. Effect of different level of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and fatty acid composition of juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*). Aquaculture 127 : 177-188.

Ibeas, C., Cejas, J., Gomez, T., Jerez, S. and Lorenzo, A. 1996. Influence of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition. Aquaculture 142 : 221-235.

Isik, O., Sarihan, E., Kusvuran, E., Gul, O. and Erbatur, O. 1999. Comparison of the fatty acid composition of the freshwater fish larvae *Tilapia zillii*, the rotifer *Brachionus calyciflorus*, and the microalgae *Scenedesmus abundans, Monoraphidium minitum* and *Chlorella vulgaris* in the algae-rotifer-fish larvae food chain. Aquaculture 174 : 299-311.

Kalogeropoulos, N., Alexis, M.N. and Henderson, R.J. 1992. Effects of dietary soybean and cod-liver oil levels on growth and body composition of gilthead bream (*Sparus aurata*). Aquaculture 104 : 293-308.

Kanazawa, A., Teshima, S., Sakamoto, M. and Awal, M.A. 1980. Requirement of *Tilapia zillii* for essential fatty acid. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46 : 1353-1356.

Khan, M.S. 1994. Apparent digestibility coefficients for common feed ingredients in formulated diets for tropical catfish *Mystus nemurus* (Cuvier .& Valenciennes). Aqua. Fish. Manage. 25 : 167-174.

Khan, M.S., Ambak, M.A., Ang, A.K. and Mohsin, A.K.M. 1990. Reproductive biology of a tropical catfish, *Mystus nemurus* Cuvier .& Valenciennes, in Chenderoh reservoir, Malasia. Aqua. Fish. Manage. 21 : 173-179.

Koven, W.M., Tandler, A., Kissil, G.W., Sklan, D., Friezlander, O. and Harel, M. 1990. The effect of dietary (n-3) polyunsaturated fatty acids on growth, survival and swim bladder deverlopment in *Sparus aurata* larvae. Aquaculture 91 : 131-141.

Koven, W.M., Tandler, A., Kissil, G.W. and Sklan, D. 1992. The importance of n- highly unsaturated fatty acids for growth in larval *Sparus aurata* and their effect on survival, lipid composition and size distribution. Aquaculture 104 : 91-104.

Lehninger, A.L., Nelson, D.l. and Cox, M.M. 1993. Principle of Biochemistry. 2nd edition. Worth Publishers, New York. 1013 p.

Lovell, T. 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand Reinhold. New York. 260 p.

Martin, D.W., Mayes, P.A. and Rodwell, V.W. 1983. Harper's Review of Biochemistry. Huntsmen offset Printing, Singapore. 638 p.

Mathews, C.K. and VanHolde, K.E. 1996. Biochemistry. 2nd edition. The Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc, Canada. 1159 p.

Mukhopadhyay, P.K. and Rout, S.K. 1996. Effects of different dietary lipids on growth and tissue fatty acid changes in fry of the carp *Catla catla* (Hamilton). Aqua. Res. 27 : 623-630.

Mustafa, M.G., Nakagawa, H., Ohya, S., Shimizu,T., Horikawa, Y. and Yamamoto, S.I. 1991. Effect of various level of dietary medium chain triglycerides on growth and lipid reservation in ayu. Nippon Suisan Gakkaishi 57 : 2327-2331.

Nakagawa, H. and Kusunoki, T. 1990. Influence of dietary medium chain triglycerides on lipid accumulation in tilapia, *Oreochromis niloticus*. Suisanzoshoku 38 : 353-359.

National Research Council (NRC). 1983. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfish. National Academy Press. Washington, D.C. 102 p

.Page, D.S. 1981. Lipids in Principles of Biological Chemistry. 2nd edition. Willard Grant Press, Boston. 454 p.

Phromkunthong, W. 1994. Effect of vitamin C levels on growth performance, feed conversion rates, survival rates and histopathology of gill, liver and kidney of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Songklanakarin J. Sci. Technol. 16 : 113-124.

Phromkunthong, W., Storch, V., Supamattaya, K. and Boonyaratpalin, M. 1995. Effect of ascorbic acid deficiency on the gill and liver histopathology of grouper, *Epinephelus malabaricus*. In : Diseases in Asian Aquaculture II. Fish Health Section, Asian Fisheries Society. Manila. pp. 503-512.

Phromkunthong, W., Boonyaratpalin, M. and Storch, V. 1997. Different concentration of ascorbyl - 2 - monophosphate - magnesium as dietary sources of vitamin C for sea bass, *Lates calcarifer*. Aquaculture 151 : 225-243.

Robinson, E.H. and Wilson, R.P. 1985. Nutrition and Feeding. pp. 323-404. In Channel Catfish Culture. (ed. C.S. Tucker) Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Elsevier, Amsterdam.

Rodriguez, C., Perez, J.A., Izquierdo, M.S., Mora, I., Lorenzo, A. and Fernandez-Palacios, H. 1993. Essential fatty acid requirement of larval gilthead sea bream *Sparus aurata* (L.). Aqua. Fish. Manage. 24 : 295-304.

Rodriguez, C., Perez, J.A., Badia, P., Izquierdo, M.S., Fernandez-Palacios, H. and Hernandez, A.L. 1998. The n-3 highly unsaturated fatty acids requirements of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). larvae when using an appropriate DHA/EPA ratio in the diet. Aquaculture 169 : 9-23.

Sargent, J., Henderson, R.J. and Tocher, D.R. 1989. The Lipid. pp. 153-228. In Fish Nutrition. (ed. J.E. Halver). Academic Press, Inc., New York.

Sargent, J., Bell, G., McEvoy, L., Tocher, D. and Estevez, A. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture 177 : 191-199.

Satoh, S., Poe, W.E. and Wilson, R.P. 1989. Effect of dietary n-3 fatty acids on weight gain and liver polar lipid fatty acid composition of fingerling channel catfish. J. Nutrition 119 : 23-28.

Shikata, T., Shimeno, S. and Ukawa, M. 1994. Effect of dietary pollack liver oil, soybean and medium chain triglyceride on hepatopancreatic enzyme activities in carp. Suisanzoshoku 42 : 439-446.

Smith, H.M. 1965. The Fresh - water Fishes of Siam, or Thailand. T.F.H. Publications, Inc, New Jersey. 622 p.

Soliman, A.K., Jauncey, K. and Roberts, R.J. 1986a. The effect of varying forms of dietary ascorbic acid on the nutrition of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 52 : 1-10.

Soliman, A.K., Jauncey, K. and Roberts, R.J. 1986b. The effect of dietary ascorbic acid supplementation on hatchability, survival rate and fry performance in *Oreochromis niloticus* (Peter). Aquaculture 59 : 197-208.

Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. Principle and Procedures of Statistics. 2nd edition. McGraw Hill, New York. 633 p.

Steffens, W. 1997. Effect of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans. Aquaculture 151 : 97-119.

Stickney, R.R. and Andrews, J.W. 1972. Effect of dietary on growth, food conversion, lipid and fatty acid composition of channel catfish. J. Nutrition 102 : 249-258.

Stickney, R.R., McGeachin, R.B., Lewis, D.H. and Marks, J. 1983. Response of young channel catfish to diets containing purified fatty acids. Trans. Am. Fish. Soc. 112 : 665-673.

Stickney, R.R., McGeachin, R.B. 1984. Response of *Tilapia aurea* to semipurified diets of differing fatty acid composition. In . (eds. Fishelson, F., Yaron, Z.). Proceedings of conference of Tilapia of Aquaculture. Tel Aviv. University. Tel Aviv. 346 p.

Takeuchi, T. and Watanabe, T. 1977a. Dietary levels of methyl laurate and essential fatty acid requirement of rainbow trout. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 43 : 893-898.

Takeuchi, T. and Watanabe, T. 1977b. Effect of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in pollock liver oil on growth and fatty acid composition of rainbow trout. Bull. Jpn Soc. Sci. Fish. 43 : 947-953.

Takeuchi, T. and Watanabe, T. and Nose, T. 1979. Requirement for essential fatty acid of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in freshwater environment. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 45 : 1319-1323.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1983a. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49 : 1127-1134.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1983b. Dietary lipids suitable for practical feed of *Tilapia nilotica*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49 : 1361-1365.

Takeuchi, T., Toyota, M., Satoh, S. and Watanabe, T. 1990. Requirement of juvenile red seabream *Pagrus major* for eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acids. Nippon Suisan Gakkaishi 56 : 1263-1269.

Thongrod, S., Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1989. Requirement of fingerling white fish *Coregonus lavaetus maraena* for dietary n - 3 fatty acids. Nippon Suisan Gakkaishi 55 : 1983-1987.

Thongrod, S., Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1990. Requirement of yamame *Oncorhynchus masou* for essential fatty acids. Nippon Suisan Gakkaishi 56 : 1255-1262.

Viola, S., Arieli, Y. and Mokady, S. 1988. Effect of long-term feeding of fish oil coated pellets on tilapia and carp growth, body fat composition and tolerance to cold. Israel J. Aqua. 40 : 64-68.

Watanabe, T., Takashima, F. and Ogino, C. 1974. Effect of dietary methyl linolinate on growth of rainbow trout. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 40 : 181-188.

Watanabe, T., Utsue, O., Kobayashi, I. And Ogino, C. 1975a. Effect of dietary methyl linoliate and linolinate on growth carp - I. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 41 : 275-262.

Watanabe, T., Takeuchi, T. and Ogino, C. 1975b. Effect of dietary methyl linoliate and linolinate on growth carp - II. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 41 : 263-269.

Watanabe, T., Takeuchi, T. and Ogino, C. 1979. Studies on the sparing effect of lipids on dietary protein in Williams, C.D. and Robinson, E.H. 1988. Response of red drum to various dietary levels of menhaden oil. Aquaculture 70 : 107-120.

Watanabe, T., Thongrod, S., Takeuchi, T., Satoh, S., Kubota, S.S., Fujimaki, Y. and Cho, C.Y. 1989. Effect of dietary n-3 and n-6 fatty acids on growth, fatty acid composition and histological changes of white fish *Coregonus lavaretus marena*. Nippon Suisan Gakkaishi 55 : 1977-1982.

Williams, C.D. and Robinson, E.H. 1988. Response of red drum to various dietary levels of menhaden oil. Aquaculture 70 : 107-120.

Yone, Y. and Fujii, M. 1975. Studies on Nutrition of red sea bream-XI : Effect of ω3 fatty acid supplement in a corn oil diet on growth rate and feed efficiency. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish 41 : 73-77.

Zeitoun, I.H., Tack, P.I., Halver, J.E. and Ullrey, D.E. 1973. Influence of salinity on protein requirement of rainbow trout, *Salmo gairdneri* fingering. J. fish. Res. Board Can. 30 : 1867-1873.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของปลา (AOAC, 1985)

1.1 การวิเคราะห์ความชื้น

1.1.1 นำขวดชั่งเข้าตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.1.2 ชั่งและบันทึกน้ำหนักของขวดชั่งโดยละเอียด

1.1.3 ชั่งตัวอย่างใส่ขวดชั่งประมาณ 5 กรัม โดยบันทึกน้ำหนักอย่างละเอียด

1.1.4 นำตัวอย่างเข้าตู้อบ อบโดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

1.1.5 นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง

1.1.6 ทำซ้ำข้อ 1.1.4 – 1.1.5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่โดยน้ำหนักที่หายไป คือ น้ำหนักของความชื้น

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(a-b)}{a} \times 100$$

โดยที่ a คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบแห้ง

b คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 2 กรัม ใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบ บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด

1.2.2 นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนเถ้าเป็นสีขาว

1.2.3 นำเข้าโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น นำออกมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียด

การคำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้า

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{(b-a)}{w} \times 100$$

โดยที่ a คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

b คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบกับน้ำหนักของเถ้าหลังการเผา

w คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

1.3.1 สารเคมี

สารละลายคลอโรฟอร์ม (chloroform) : เมทธานอล (methanol) อัตราส่วน 2 : 1

1.3.2 วิธีการ

(1) อบถ้วยสกัดไขมัน (cup) ที่มีลูกแก้ว 2 – 3 เม็ด และตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบจนแห้งแล้วตั้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

(2) ชั่งน้ำหนักถ้วยสกัดไขมันพร้อมลูกแก้วให้ได้น้ำหนักคงที่ (W_1)

(3) ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรอง ประมาณ 1 – 2 กรัม (W_2) ห่อให้มิดชิดใส่ลงในไส้กรองสาร (thimble) ที่เตรียมไว้นำไปใส่เข้าเครื่องสกัดไขมัน

(4) นำถ้วยสกัดไขมันพร้อมลูกแก้วที่ชั่งไว้แล้วเติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทธานอล 25 มิลลิลิตร แล้วใส่เข้าเครื่องสกัดไขมันให้เรียบร้อย

(5) เปิดเครื่องสกัดไขมัน ปรับอุณหภูมิไปที่ 160 องศาเซลเซียส เปิดน้ำเข้าเครื่อง เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ boiling ต้มให้เดือด 30 นาที

(6) เลื่อนปุ่มไปที่ rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 20 นาที

(7) ปิดวาล์ว เปิดสวิทซ์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ evaporation เพื่อให้สารระเหยออกไป 5 นาที

(8) ปิดเครื่อง ปิดอากาศและน้ำ แล้วเลื่อนปุ่ม evaporation กลับที่เดิม นำถ้วยสกัดไขมันออกจากเครื่องวางทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนแห้ง

(9) นำถ้วยสกัดไขมันออกมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (W_3)

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมัน

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_2} \times 100$$

โดยที W_1 คือ น้ำหนักถ้วยสกัดไขมันพร้อมลูกแก้ว

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่าง

W_3 คือ น้ำหนักถ้วยสกัดไขมันพร้อมลูกแก้วและตัวอย่างหลังการอบ

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

1.4.1 สารเคมี

(1) กรดซัลฟูริกเข้มข้น (sulfuric acid, H_2SO_4) 93 - 98 เปอร์เซ็นต์

(2) สารเร่งรวม (catalyst mixture) เตรียมโดยชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต (coppersulfate, $CuSO_4$) 7 กรัม กับโปแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate, K_2SO_4) 100 กรัม ผสมให้เข้ากัน

(3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) 45 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 450 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

(4) สารละลายกรดเกลือ (hydrochloric acid, HCl) 0.1 นอร์มอล เตรียมโดยละลายกรดเกลือ 9 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร

(5) สารละลายกรดบอริค (boric acid, H_3BO_3) 4 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยละลายกรดบอริค 4 กรัมในน้ำกลั่น ต้มจนกระทั่งละลายหมดปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

(6) อินดิเคเตอร์รวม (mixed indicator) เตรียมโดยละลายเมทิลเรด 0.2 กรัม ในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร และละลายเมทิลินบลู

(methylene blue) 0.2 กรัมในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายเมทิลเรด 2 ส่วน ผสมกับสารละลายเมทิลลินบลู 1 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน

(7) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3) 0.1 นอร์มอล เตรียมโดยอบโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 260 - 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารดังกล่าวมา 1.325 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร

(8) เมทิลออเรนซ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator) เตรียมโดยละลายเมทิลออเรนซ์ 0.1 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

1.4.2 การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน

ดูดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 40 มิลลิลิตร ลงในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เติมเมทิลออเรนซ์ อินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด ทำการไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือโดยใช้สูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

$$\text{หรือนอร์มอลลิตี้ของกรดเกลือ} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม) ของโซเดียมคาร์บอเนต x 1000}}{\text{สารละลายกรดเกลือ (มิลลิลิตร) x 52.994}}$$

1.4.3 วิธีการวิเคราะห์

ก. ขั้นตอนการย่อย (digestion)

(1) ชั่งตัวอย่างด้วยกระดาษชั่งสารที่ปราศจากไนโตรเจน ให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด ใส่ตัวอย่างลงในขวดวิเคราะห์โปรตีน

(2) เติมสารเร่งรวม 3 กรัม

(3) เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 10 มิลลิลิตร

(4) นำไปให้ความร้อนด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายในขวดวิเคราะห์ใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

ข. ขั้นตอนการกลั่น (distillation)

(1) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดวิเคราะห์

(2) ต่อขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับชุดเครื่องกลั่นที่มีขวดรูปชมพู่บรรจุกรดบอริก 40 มิลลิลิตร โดยให้ปลายของท่อยางที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริก เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดวิเคราะห์อย่างช้าๆ จนกระทั่งสารละลายมีสีดำ

(3) ใส่อินดิเคเตอร์ลงในกรดบอริค 2 - 3 หยด

(4) ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีก๊าซแอมโมเนียออกมา เมื่อกรดบอริคเปลี่ยนเป็นสีเขียวแล้วจึงทำการกลั่นต่อไปอีก 10 นาที จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ออกจากเครื่องกลั่น

ค. ขั้นตอนการไตเตรท (titration)

(1) นำไปไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนกระทั่งกรดบอริคเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน

(2) บันทึกปริมาตรของกรดเกลือมาตรฐานที่ใช้เพื่อการคำนวณต่อไป

การคำนวณเปอร์เซ็นต์โปรตีน

$$\text{โปรตีน (\%)} = \frac{1.4\,(V_1 - V_2)\,N \times 6.25}{W}$$

โดยที่ V_1 คือ ปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง

V_2 คือ ปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ในการไตเตรทกับ blank

N คือ ความเข้มข้นของกรดเกลือ (นอร์มอล)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในปลา

2.1 การสกัดไขมัน (Folch, 1957)

2.1.1 สารเคมี

(1) สารละลายคลอโรฟอร์ม (chloroform) : เมทธานอล (methanol) อัตราส่วน 2 : 1

(2) กาซไนโตรเจนบริสุทธ์

2.1.2 วิธีการ

(1) ชั่งตัวอย่าง 3 - 5 กรัม (W_2) ใส่ในบีกเกอร์

2) เติมสารละลายเติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทธานอล ประมาณ 25 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน

(3) เติมน้ำกลั่นลงไป 25 มิลลิลิตร ปั่นต่อไปอีก 30 วินาที

(4) เทส่วนผสมลงในกรวยแยก (separatory funnel) ขนาด 250 – 500 มิลลิลิตร

(5) เขย่าให้เข้ากันอย่างแรงเป็นเวลา 2 – 3 นาที เป่าด้วยกาซไนโตรเจน 1 นาที

(6) ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นเป็น 3 ชั้น ชั้นล่างสุดเป็นส่วนผสมของไขมันละลายในคลอโรฟอร์ม ชั้นกลางเป็นตัวอย่างและน้ำ และชั้นบนสุดเป็นชั้นเมทธานอล

(7) ไขเอาส่วนล่างที่เป็นไขมันละลายในคลอโรฟอร์มออกลงในบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน(W_1)

(8) นำไประเหยเอาคลอโรฟอร์มออกในน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส

(9) นำไขมันไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 – 5 ชั่วโมง จนแห้งแล้วจึงทำให้เย็นในโถดูดความชื้นและนำไปชั่งน้ำหนัก (W_3)

(10) ละลายไขมันด้วยสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทธานอล ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่ตู้แช่แข็งไว้ใช้วิเคราะห์ต่อไป

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมัน

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_2} \times 100$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักบีกเกอร์

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่าง

W_3 คือ น้ำหนักบีกเกอร์และไขมันหลังการอบ

2.2 การเตรียมเมทธิลเอสเทอร์

2.2.1 สารเคมี

(1) ไอโซออกเทน (iso-octane)

(2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทธานอล ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล

(3) สารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทธานอล ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์

(4) สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว (ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 36 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร)

(5) กาซไนโตรเจนบริสุทธ์

2.2.2 วิธีการ

(1) ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 25 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดฝาเกรียวขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทธานอลปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เป่าด้วยกาซไนโตรเจนบริสุทธ์และปิดฝาหลอดให้แน่นแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที

(2) ทำให้เย็นแล้วเติมสารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทธานอลปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เป่าด้วยกาซไนโตรเจนบริสุทธ์และปิดฝาหลอดให้แน่นแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที

(3) ทำให้เย็นทันทีโดยให้มีอุณหภูมิประมาณ 30 - 40 องศาเซลเซียส แล้วเติมไอโซออกเทน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ปั่นผสมด้วยเครื่องเขย่านาน 30 วินาที

(4) เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ปริมาตร 5 มิลลิลิตรทันที ปั่นผสมด้วยเครื่องเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้น

(5) ดูดสารละลายชั้นบน (ส่วนของไอโซออกเทน) ใส่ในหลอดที่สะอาดและแห้ง

(6) สกัดสารละลายชั้นล่างซ้ำอีกครั้งด้วยไอโซออกเทน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ปั่นผสมด้วยเครื่องเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้น ดูดสารละลายชั้นบนใส่ในหลอดเดียวกับที่ได้จากข้อ (5) เป่าด้วยกาซไนโตรเจนบริสุทธิ์และปิดฝาหลอดให้แน่นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส รอนำไปฉีดเข้าเครื่องแกซโครมาโตกราฟี (gas chromatography, GC)

3. วิธีการสกัดไขมันออกจากปลาป่น

3.1 สารเคมี

เอทธิลแอลกอฮอล์ หรือ เฮกเซน

3.2 วิธีการ

3.2.1 ชั่งปลาป่น 500 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 4 ลิตร

3.2.2 เติมเอทธิลแอลกอฮอล์ หรือ เฮกเซน 2 – 3 เท่าของปลาป่นหรือประมาณ 2.5 – 3.0 ลิตร

3.2.3 นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.2.4 นำปลาป่นที่ผ่านการต้มมากรองด้วยผ้าขาวบาง

3.2.5 ทำซ้ำตามข้อ 3.2.2 – 3.2.4 อีก 3 ครั้ง

3.2.6 จากนั้นนำปลาป่นที่ได้มา suction ด้วยเครื่อง suction pump

3.2.7 นำปลาป่นมาผึ่งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนแห้ง

3.2.8 นำปลาป่นที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไขมันก่อนนำไปใช้ต่อไป

4. วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีการศึกษาพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อ (Bancroft, 1967)

4.1 สารเคมี

4.1.1 สารละลายบูแอง (Bouin's solution) เตรียมโดยใช้

ฟอร์มาลีน (formalin)	25	มิลลิลิตร
กรดพิคริค (saturated aqueous picric acid)	75	มิลลิลิตร
กรดอะซิติกเข้มข้น	5	มิลลิลิตร

ผสมเข้าด้วยกัน

4.1.2 สีย้อมฮีมาทอกซิลิน (hematoxylin) เตรียมโดยใช้

ฮีมาทอกซิลิน (hematoxylin crystal)	4	กรัม
โซเดียมไอโอเดท (sodium iodate)	0.8	กรัม
อลัม (potasium aluminium sulfate, alum)	100	กรัม
กรดซิตริก (citric acid)	4	กรัม
คลอรัลไฮเดรท (chloral hydrate)	200	กรัม
น้ำกลั่น	2,000	มิลลิลิตร

ละลายอลัมลงในน้ำกลั่น เติมฮีมาทอกซิลินผสมจนกระทั่งละลายหมด จึงเติมโซเดียมไอโอเดทผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมกรดซิตริกและคลอรัลไฮเดรทผสมจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกันทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้งาน

4.1.3 สีย้อมอีโอซิน (eosin) เตรียมโดยใช้

อีโอซิน (eosin Y.Cl 45380)	1	กรัม
เอทธิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ (ethyl aclohol)	1,000	มิลลิลิตร
กรดอะซิติกเข้มข้น	5	มิลลิลิตร

ผสมเข้าด้วยกัน

4.2 การเตรียมตัวอย่าง

4.2.1 สลบปลาด้วยสารละลายควินาดีน (quinaldine) 50 ส่วนในล้านส่วน

4.2.2 ใช้กรรไกรผ่าตัดเปิดช่องท้องของปลาออก ตัดตับออกแล้วดองในน้ำยาบูแอง ทันที เก็บรักษาตัวอย่างในน้ำยาดองดังกล่าวเป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงเปลี่ยนน้ำยาดองเป็นเอทธิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานาน

4.3 ขั้นตอนการ dehydration และ embedding

4.3.1 ตบแต่งตัวอย่าง (trim) ที่ผ่านการดองแล้วให้มีขนาดพอเหมาะเพื่อสะดวกต่อการ embed และนำไปตัด section

4.3.2 นำตัวอย่างไปผ่านขั้นตอน dehydration ด้วยเครื่องเตรียมเนื้อเยื่ออัตโนมัติ (automatic tissue processor) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่	สารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)
1	แอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์	1
2	แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์	1
3	แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์	1
4	แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์	1
5	แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์	1
6	แอบโซลูท แอลกอฮอล์ (absolute alcohol)	1
7	ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol)	1
8	ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์	1
9	ไซลีน (xylene)	1
10	ไซลีน	1
11	พาราพลาสท์ (paraplast)	1
12	พาราพลาสท์	1

4.3.3 นำตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนในข้อ 4.3.2 ไป embed ด้วยพาราพลาสท์ จากนั้นนำ block ไปแช่ตู้เย็นเพื่อง่ายต่อการนำไปตัด section ต่อไป

4.3.4 ตบแต่งตัวอย่างที่อยู่ใน block ให้มีขนาดพอดีกับขนาดสไลด์ และ cover grass ปิดได้สนิท จากนั้นนำไปตัดด้วยเครื่องตัดเนื้อเยื่อไมโครโตม (microtome) ให้มีความหนาประมาณ 3 - 4 ไมครอน นำไปลอยในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 45 - 50 องศาเซลเซียส

4.3.5 ใช้แผ่นสไลด์ช้อนตัวอย่าง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลาข้ามคืน

4.3.6 นำสไลด์ไปผ่านขบวนการย้อมสีฮีมาทอกซิลินและอีโอซิน โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่	สารละลาย	เวลา (นาที)
1	ไซลีน	2
2	ไซลีน	2
3	ไซลีน	2
4	ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์	1
5	ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์	1
6	แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์	1
7	แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์	1
8	แอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์	1
9	น้ำกลั่น	1
10	ฮีมาทอกซิลิน	20
11	น้ำประปา	1
12	น้ำกลั่น	1
13	แอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์	1
14	อีโอซิน	2
15	แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์	2
16	แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์	2
17	แอบโซลูท แอลกอฮอล์	2

ขั้นตอนที่	สารละลาย	เวลา (นาที)
18	ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์	2
19	ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์	2
20	ไซลีน	2
21	ไซลีน	2
22	ไซลีน	2

4.3.7 mount slide ด้วยน้ำยาเปอร์เมาท์ (permount) แล้วนำตัวอย่างไปศึกษาพยาธิสภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข. 1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง[1]

สูตรอาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)			
	ความชื้น	เถ้า[2]	ไขมัน[2]	โปรตีน[2]
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	14.09 ± 0.03[a]	7.95 ± 0.08[a]	0.57 ± 0.08[b]	32.50 ± 0.11[a]
T_2 18:0 6 %	13.57 ± 0.05[a]	7.97 ± 0.07[a]	6.17 ± 0.14[a]	32.59 ± 0.28[a]
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	12.14 ± 0.08[a]	7.82 ± 0.46[a]	6.57 ± 0.16[a]	32.25 ± 0.17[a]
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	12.81 ± 0.07[a]	8.19 ± 0.02[a]	6.51 ± 0.22[a]	32.70 ± 0.25[a]
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	12.61 ± 0.06[a]	8.06 ± 0.18[a]	6.15 ± 0.21[a]	31.50 ± 0.58[a]
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	14.39 ± 0.04[a]	8.20 ± 0.05[a]	5.71 ± 0.13[a]	32.37 ± 0.60[a]
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	14.56 ± 0.08[a]	8.25 ± 0.05[a]	5.83 ± 0.26[a]	31.55 ± 0.28[a]

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

[2]คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข.2 องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารสูตรต่างๆ

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)						
	ไม่เสริมกรดไขมัน	18:0 6%	18:0 5% +18:2ω-6 1%	18:0 5.5% +18:2ω-6 0.5%	18:0 5% +18:3ω-3 1%	18:0 5.5% +18:3ω-3 0.5%	18:0 5% +18:2ω-6 0.5% +18:3ω-3 0.5%
	(T_1)	(T_2)	(T_3)	(T_4)	(T_5)	(T_6)	(T_7)
14:0	10.496	3.027	0.702	0.731	0.765	0.862	0.603
15:0	-	-	-	-	0.265	-	-
16:0	40.759	48.515	45.054	42.663	38.749	48.560	45.054
16:1	-	-	-	-	-	-	-
17:0	-	2.205	0.666	0.749	1.045	-	-
18:0	34.311	44.342	48.138	52.498	50.409	46.019	47.296
18:1ω-6	-	-	-	-	-	-	-
18:1ω-9	-	-	-	-	-	-	-
18:2ω-6	-	-	5.019	2.757	1.865	1.065	2.953
18:3ω-3	-	-	-	-	5.426	3.494	2.815
20:0	-	-	0.422	0.603	0.709	-	0.525
20:1ω-9	-	-	-	-	-	-	-
20:2ω-9	-	-	-	-	-	-	-
20:3ω-9	-	-	-	-	-	-	-
20:2ω-6	-	-	-	-	-	-	-
20:4ω-6	-	-	-	-	-	-	-
20:3ω-3	-	-	-	-	-	-	-
20:4ω-3	-	-	-	-	-	-	-
20:5ω-3	-	-	-	-	-	-	-
22:1	-	-	-	-	-	-	-
22:5ω-6	-	-	-	-	-	-	-
22:5ω-3	-	-	-	-	-	-	-
22:6ω-3	-	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ข. 3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)				
	สัปดาห์ที่ 0 - 2	สัปดาห์ที่ 3 - 4	สัปดาห์ที่ 5 - 6	สัปดาห์ที่ 7 - 8	สัปดาห์ที่ 9 - 10
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	56.65 ± 7.22^{a}	25.38 ± 15.04^{a}	79.22 ± 28.37^{a}	36.75 ± 2.13^{c}	22.18 ± 2.80^{a}
T_2 18:0 6 %	47.77 ± 9.64^{a}	38.62 ± 1.99^{a}	53.36 ± 6.97^{a}	36.57 ± 0.09^{c}	24.95 ± 3.14^{a}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	59.36 ± 9.25^{a}	36.51 ± 3.92^{a}	69.46 ± 12.67^{a}	49.32 ± 4.15^{a}	28.65 ± 3.85^{a}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	72.71 ± 12.55^{a}	45.09 ± 3.48^{a}	67.37 ± 4.00^{a}	41.74 ± 7.38^{abc}	35.82 ± 6.55^{a}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	60.07 ± 6.31^{a}	37.95 ± 5.98^{a}	52.34 ± 0.26^{a}	39.92 ± 0.86^{bc}	30.07 ± 3.55^{a}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	56.81 ± 4.98^{a}	41.61 ± 14.32^{a}	58.91 ± 3.62^{a}	47.06 ± 5.41^{ab}	27.57 ± 5.03^{a}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	67.99 ± 4.71^{a}	39.38 ± 3.78^{a}	64.26 ± 2.84^{a}	41.33 ± 1.47^{abc}	34.77 ± 3.33^{a}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข. 4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวต่อวัน)				
	สัปดาห์ที่ 0 - 2	สัปดาห์ที่ 3 - 4	สัปดาห์ที่ 5 - 6	สัปดาห์ที่ 7 - 8	สัปดาห์ที่ 9 - 10
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	0.64 ± 0.06^a	0.32 ± 0.17^a	0.82 ± 0.23^a	0.45 ± 0.02^a	0.29 ± 0.03^a
T_2 18:0 6 %	0.56 ± 0.09^a	0.47 ± 0.02^a	0.61 ± 0.06^a	0.44 ± 0.00^a	0.32 ± 0.03^a
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	0.66 ± 0.08^a	0.44 ± 0.04^a	0.75 ± 0.11^a	0.57 ± 0.04^a	0.36 ± 0.04^a
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	0.73 ± 0.40^a	0.53 ± 0.03^a	0.73 ± 0.03^a	0.50 ± 0.07^a	0.44 ± 0.07^a
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	0.67 ± 0.05^a	0.46 ± 0.06^a	0.61 ± 0.00^a	0.48 ± 0.01^a	0.37 ± 0.04^a
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	0.64 ± 0.04^a	0.49 ± 0.14^a	0.66 ± 0.03^a	0.55 ± 0.05^a	0.35 ± 0.06^a
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	0.74 ± 0.04^a	0.47 ± 0.04^a	0.71 ± 0.02^a	0.49 ± 0.01^a	0.43 ± 0.03^a

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข. 5 น้ำหนักอาหาร (กรัม) ที่ปลากินเฉลี่ยต่อตัวทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	น้ำหนักอาหาร (กรัม)				
	สัปดาห์ที่ 0 - 2	สัปดาห์ที่ 3 - 4	สัปดาห์ที่ 5 - 6	สัปดาห์ที่ 7 - 8	สัปดาห์ที่ 9 - 10
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	3.65 ± 0.32^{a}	4.18 ± 0.16^{a}	6.95 ± 0.68^{bc}	8.65 ± 0.69^{cd}	9.07 ± 0.10^{b}
T_2 18:0 6 %	3.35 ± 0.37^{a}	3.93 ± 0.36^{a}	5.60 ± 0.50^{d}	6.64 ± 0.47^{e}	7.24 ± 0.27^{b}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	3.41 ± 0.45^{a}	4.22 ± 0.76^{a}	7.82 ± 0.25^{a}	11.58 ± 0.79^{a}	12.46 ± 1.24^{a}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	3.92 ± 0.40^{a}	5.07 ± 0.17^{a}	7.59 ± 0.36^{ab}	10.64 ± 1.35^{ab}	13.39 ± 1.84^{a}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	3.33 ± 0.22^{a}	3.34 ± 0.16^{a}	5.54 ± 0.07^{d}	7.74 ± 0.20^{de}	9.34 ± 0.43^{b}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	3.40 ± 0.39^{a}	3.89 ± 0.51^{a}	6.38 ± 0.17^{c}	9.27 ± 0.21^{bc}	11.73 ± 0.64^{a}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	3.75 ± 0.16^{a}	4.21 ± 0.02^{a}	7.17 ± 0.13^{ab}	9.90 ± 0.15^{bc}	12.70 ± 1.24^{a}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข. 6 อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน)				
	สัปดาห์ที่ 0 - 2	สัปดาห์ที่ 3 - 4	สัปดาห์ที่ 5 - 6	สัปดาห์ที่ 7 - 8	สัปดาห์ที่ 9 -10
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	4.41 ± 0.26^{a}	3.59 ± 0.21^{a}	3.80 ± 0.34^{abc}	3.26 ± 0.05^{c}	2.66 ± 0.20^{bc}
T_2 18:0 6 %	4.34 ± 0.55^{a}	3.52 ± 0.19^{a}	3.46 ± 0.30^{c}	2.83 ± 0.20^{d}	2.37 ± 0.03^{c}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	4.22 ± 0.23^{a}	3.51 ± 0.19^{a}	4.27 ± 0.30^{a}	4.06 ± 0.13^{a}	3.20 ± 0.30^{ab}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	4.76 ± 0.62^{a}	3.92 ± 0.08^{a}	3.76 ± 0.18^{bc}	3.31 ± 0.07^{c}	2.57 ± 0.67^{bc}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	4.33 ± 0.31^{a}	3.00 ± 0.14^{a}	3.36 ± 0.08^{c}	3.28 ± 0.03^{c}	2.91 ± 0.07^{abc}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	4.28 ± 0.30^{a}	3.30 ± 0.45^{a}	3.54 ± 0.06^{c}	3.39 ± 0.08^{c}	3.20 ± 0.29^{ab}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	4.88 ± 0.04^{a}	3.66 ± 0.09^{a}	4.05 ± 0.04^{ab}	3.73 ± 0.05^{b}	3.47 ± 0.20^{a}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข. 7 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อทุกๆ 2 สัปดาห์ ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ				
	สัปดาห์ที่ 0 - 2	สัปดาห์ที่ 2 - 4	สัปดาห์ที่ 4 - 6	สัปดาห์ที่ 6 - 8	สัปดาห์ที่ 8 - 10
T_1 ไม่เสริมกรดไขมัน	1.40 ± 0.06^{a}	3.99 ± 2.96^{a}	1.19 ± 0.36^{a}	1.47 ± 0.09^{a}	1.87 ± 0.07^{a}
T_2 18:0 6 %	1.58 ± 0.06^{b}	1.66 ± 0.21^{a}	1.15 ± 0.02^{a}	1.41 ± 0.09^{a}	1.78 ± 0.59^{a}
T_3 18:0 5 % + 18:2ω-6 1 %	1.30 ± 0.11^{a}	1.87 ± 0.54^{a}	1.21 ± 0.57^{a}	1.44 ± 0.09^{a}	1.79 ± 0.05^{a}
T_4 18:0 5.5 % + 18:2ω-6 0.5 %	1.32 ± 0.10^{a}	1.63 ± 0.32^{a}	1.04 ± 0.00^{a}	1.42 ± 0.08^{a}	1.47 ± 0.16^{a}
T_5 18:0 5 % + 18:3ω-3 1 %	1.33 ± 0.03^{a}	1.32 ± 0.11^{a}	1.21 ± 0.09^{a}	1.38 ± 0.04^{a}	1.73 ± 0.11^{a}
T_6 18:0 5.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	1.35 ± 0.01^{a}	1.45 ± 0.06^{a}	1.19 ± 0.15^{a}	1.39 ± 0.16^{a}	2.02 ± 0.33^{a}
T_7 18:0 5 % + 18:2ω-6 0.5 % + 18:3ω-3 0.5 %	1.35 ± 0.06^{a}	1.56 ± 0.09^{a}	1.17 ± 0.05^{a}	1.58 ± 0.06^{a}	1.64 ± 0.04^{a}

[1]ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวมายมูเน๊าะ มิดคาดี

วัน เดือน ปี เกิด 19 มิถุนายน พ.ศ. 2511

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วาริชศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	พ.ศ. 2532

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน อาจารย์ 1 ระดับ 5 วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์
ต. พะวง อ. เมือง จ. สงขลา 90110