ผลของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล

อาทิตยา วงศ์วุฒิ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง
พฤษภาคม 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ผลของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล

อาทิตยา วงศ์วุฒิ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง
พฤษภาคม 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

EFFECTS OF PERILLA (*PERILLA FRUTESCENS*) OIL AND ITS MICRO-EMULSION ON THE ACCUMULATION OF OMEGA 3 FATTY ACIDS IN NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*)

ATHITAYA WONGWUT

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Science Degree in Fisheries Technology and Innovation

May 2024

Copyright 2024 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนต่อการสะสมกรดไขมัน
โอเมก้า 3 ในปลานิล

ของ อาทิตยา วงศ์วุฒิ

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชนกันต์ จิตมนัส)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงไกร สีตะพันธุ์)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภางค์ คนดี)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมศักดิ์ พินธะ)

..... คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก)

เรื่อง: ผลของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล

ผู้วิจัย: อาทิตยา วงศ์วุฒิ, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (เทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงไกร สีตะพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภางค์ คนดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมศักดิ์ พินธะ

คำสำคัญ: โอเมก้า 3, น้ำมันงาม้อน, ไมโครอิมัลชัน, ปลานิล

บทคัดย่อ

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิลยังถือว่ามีปริมาณน้อยกว่าปลาทะเลหลายชนิด ทั้งนี้กรดไขมันโอเมก้า 3 ถือเป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์หลายด้าน ช่วยพัฒนาระบบประสาท เสริมระบบภูมิคุ้มกัน รวมถึงลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดอุดตัน กรดไขมันดังกล่าวสามารถพบได้ในงาม้อน ซึ่งเป็นพืชที่มีปริมาณโอเมก้า 3 สูง งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อน ต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ในการทดลองที่ 1 การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารต่อกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลานิล (น้ำหนักเฉลี่ย 853±50.90 กรัม) เลี้ยงนาน 60 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า เนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนเข้มข้นร้อยละ 6 มีกรดไขมันโอเมก้า 3 เท่ากับ 0.14±0.00 g/100g โดยเพิ่มสูงขึ้นถึง 7.0 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับปลานิลก่อนเริ่มทดลอง และยังมีปริมาณที่สูงกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด (0.09±0.01 g/100g) ในส่วนการทดลองที่ 2 การศึกษาการตั้งตำรับไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อน ทำการเตรียมตำรับประกอบไปด้วย น้ำมันงาม้อนเป็นวัฏภาคน้ำมัน Tween 80: Span 80 (สัดส่วน 1:1) เป็นสารลดแรงตึงผิว และน้ำกลั่นเป็นวัฏภาคน้ำ ทำการศึกษาคุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ย เตรียมสูตรตำรับ 3 สูตรได้แก่ ไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม (ตำรับควบคุม) ความเข้มข้นร้อยละ 4, ไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.36±0.70, 27.03±7.93 และ 25.85±19.42 นาโนเมตร นำไมโครอิมัลชันแต่ละตำรับไปศึกษาต่อในการทดลองถัดไป และการทดลองที่ 3 การศึกษาผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ได้แก่ อาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (ชุดควบคุม), อาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6, อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม, อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 เลี้ยงนาน 60 วัน พบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีองค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้า 3 รวมสูงกว่าทุกชุดการทดลอง มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าทุกชุดการทดลองเล็กน้อย สำหรับอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ในส่วนของอัตรารอดพบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อนร้อยละ 4 มีอัตรารอดสูงกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม ($p>0.05$) ซึ่งมีอัตรารอดสูงที่สุด การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า อาหารเสริมไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อนร้อยละ 4 เป็นสูตรอาหารที่เหมาะที่จะนำมาใช้เลี้ยงปลานิลเพื่อให้ได้ปลานิลที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมกับการนำมาบริโภคกับคนทุกเพศทุกวัย

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

Title: EFFECTS OF PERILLA (*PERILLA FRUTESCENS*) OIL AND ITS MICRO-EMULSION ON THE ACCUMULATION OF OMEGA 3 FATTY ACIDS IN NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*)

Author: Athitaya Wongwut, Thesis: M.Sc. (Fisheries Technology and Innovation), University of Phayao, 2023

Advisor: Assistant Professor Dr. Kriengkrai Seetapan Co-advisor Associate Professor Dr.Supang Kondee Assistant Professor Dr.Komsak Pintha

Keywords: Omega 3 Perilla oil Microemulsion Nile tilapia

ABSTRACT

Tilapia is a widely consumed freshwater fish due to its high nutritional value. However, the amount of fatty acids, especially omega 3 fatty acids, in tilapia is still considered to be less than many marine fish. Omega 3 fatty acids are considered that are beneficial to humans in many aspects. including helping develop the nervous system and brain, boost the immune system, and reduce the risk of cardiovascular diseases such as atherosclerosis. Such fatty acids can be found in the Perilla mint, a plant with a high omega 3 content. This research is interested in the development of a microemulsion of perilla oil that affects the accumulation of omega 3 fatty acids in tilapia. In the first experiment, 6% dietary concentration of perilla oil supplementation was given to increased omega 3 fatty acids in tilapia (average weight 853±50.90 g). At the end of the trial, tilapia fillets fortified with 6% concentrated perilla oil had an omega 3 fatty acid content of 0.14±0.00 g/100g, a 7.0-fold increment compared to tilapia before the trial, and a higher content than Atlantic salmon fillets (0.09±0.01 g/100g). In the second experiment, a study of microemulsion formulation of perilla oil. The preparation of the recipe includes: Tween 80: Span 80 (1:1 ratio) is a surfactant, and deionized water is a water cycle. Characterization of microemulsion recipes is studied. Average particle size three formulations were prepared: palm kernel oil microemulsion 4% concentration, perilla oil microemulsion 4% and 6% concentration, with average particle sizes of 3.36±0.70 nm, 27.03±7.93 nm and 25.85±19.42 nm. Each microemulsion was studied in the next experiment, and the third experiment investigated the effects of different forms of oil supplementation on omega 3 fatty acid accumulation. The tilapia were fed with six different type of food: commercial feed (control), supplements with 4% and 6% concentration of perilla oil, 4% concentration palm kernel oil microemulsion, 4% and 6% concentration perilla oil microemulsion supplements, It was found that tilapia fed with a diet supplemented with 4% concentration of perilla oil microemulsion had higher total omega 3 fatty acid composition than in all trials. It had a slightly better growth rate than all the experimental batches. In terms of survival rates, it was shown that tilapia given with a microemulsion supplement of 4% perilla oil had higher survival rates than tilapia fed a controlled diet ($p<0.05$). but there was no difference in tilapia fed palm kernel oil microemulsion supplement ($p>0.05$), which had the highest survival rate. This study demonstrates that the microemulsion supplement of 4% perilla oil is an ideal recipe to be used in tilapia farming to obtain nutritious tilapia suitable for consumption by people of all genders and ages.

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร สีตะพันธุ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภางค์ คนดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมศักดิ์ พินธะ กรรมการที่ปรึกษา ผู้ให้ความเมตตากรุณาถ่ายทอดองค์ความรู้ ให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย แก้ไขปัญหา และอุปสรรคต่าง ๆ สนับสนุนด้านงบประมาณเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยและการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส อาจารย์คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวทาง ตรวจทาน และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่สำนักงานเลขานุการ ที่คอยให้การช่วยเหลือสนับสนุนในการติดต่อประสานงาน ตลอดจนบุคลากรในพื้นที่ปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้การสนับสนุน อำนวยความสะดวกในด้านในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณแหล่งทุนหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการ A13F650188 และทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีการศึกษา 2566 ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัว เพื่อน และรุ่นพี่ที่คอยเป็นกำลังใจ และสนับสนุนในทุกด้านตลอดมา หวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจศึกษา สามารถนำไปเป็นข้อมูลที่จะสามารถนำไปต่อยอด เพื่อเป็นประโยชน์ทางด้านการวิจัย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

อาทิตยา วงศ์วุฒิ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

งาม้อน 3

กรดไขมัน (fatty acid) 4

ปลานิล (Nile tilapia) 6

อิมัลชัน (Emulsion) 9

นาโนอิมัลชัน (Nanoemulsion) 9

ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) 10

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 13

การทดลองที่ 1 การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล 13

การทดลองที่ 2 การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน..... 14
การทดลองที่ 3 ผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล 16
บทที่ 4 ผลการทดลอง 20
การทดลองที่ 1 การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล 20
การทดลองที่ 2 การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน.....25
การทดลองที่ 3 ผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล 27
บทที่ 5 บทสรุป.....36
สรุปผลการวิจัย 36
อภิปรายผลการวิจัย.....38
บรรณานุกรม 48
ภาคผนวก 57
ประวัติผู้วิจัย 58

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ส่วนประกอบของตำรับไมโครอิมัลชันที่ใช้สัดส่วนของวัฏภาคน้ำมันงาม้อน และสารลดแรงตึงผิวต่างกัน 16

ตาราง 2 ส่วนประกอบของตำรับไมโครอิมัลชันที่เลือกมาผสมกับน้ำมันงาม้อน 16

ตาราง 3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 21

ตาราง 4 องค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 23

ตาราง 5 องค์ประกอบกรดไขมันรวมในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 24

ตาราง 6 คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่ใช้สัดส่วนของวัฏภาคน้ำมันงาม้อน และสารลดแรงตึงผิวต่างกัน.....26

ตาราง 7 คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่เลือกมาผสมกับน้ำมันงาม้อน.....26

ตาราง 8 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน.....28

ตาราง 9 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ระยะเวลา 30 และ 60 วัน.....29

ตาราง 10 องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารทดลองจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน 30

ตาราง 11 องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน 31

ตาราง 12 องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ระยะเวลา 60 วัน 32

ตาราง 13 อัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ตลอดการทดลองระยะเวลา 60 วัน 34

ตาราง 14 อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนในการเลี้ยงปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ระยะเวลา 60 วัน 35

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพ 1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบ ต่างกันระยะเวลา 60 วัน.....33

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

สังคมไทยได้เข้าสู่การเป็นสังคมสูงวัยตั้งแต่ปี 2548 ในปี 2563 มีจำนวนประชากรผู้สูงอายุคิดเป็นร้อยละ 17.57 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องคาดว่าในปี 2566 ประเทศไทยจะกลายเป็นสังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ที่มีประชากรอายุมากกว่า 60 สูงถึงร้อยละ 20.10 ของประชากรทั้งหมด การดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ชีวิตอย่างเหมาะสมโดยใช้อาหารบำบัด การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้บริโภคโดยหันไปใช้จ่ายเพื่อบริโภคสินค้า และบริการเกี่ยวกับสุขภาพเพิ่มขึ้น (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2565) อาหารจึงมีความสำคัญ และผู้สูงอายุควรบริโภคอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน และอุดมไปด้วยสารอาหาร อาทิ โปรตีน วิตามินดี วิตามินบี 12 โฟเลต แคลเซียม เหล็ก ซิลิเนียม ใยอาหาร และกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 (Alpha-linolenic acid; ALA) เป็นสารสำคัญที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เสริมระบบภูมิคุ้มกันรวมทั้งระบบประสาท และสมอง โดยเน้นบริโภคโปรตีนที่มีคุณภาพหรือมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน และการบริโภคโปรตีนอย่างเพียงพอจะส่งผลดีต่อความสมดุลไนโตรเจน ซึ่งช่วยลดการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อเมื่อมีอายุสูงขึ้น ขณะที่การบริโภคโปรตีนไม่เพียงพอจะส่งผลเสีย เช่น ระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง ภาวะโลหิตจาง การลดลงของมวลกล้ามเนื้อ และเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้ง่ายเป็นต้น เนื้อปลาจึงเป็นทางเลือกของโปรตีนที่ดีและย่อยง่าย เนื่องจากผู้สูงอายุจะมีปัญหาด้านสุขภาพฟัน และการบดเคี้ยวอาหาร (เนตรนภิส วัฒนสุชาติ, 2561) ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย สามารถหาซื้อได้ง่ายในราคาที่จับต้องได้ ปัจจุบันธุรกิจการเพาะเลี้ยงปลานิลมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค มีการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิลที่จะสามารถทดแทนปลาทะเลราคาสูงได้ โดยการทดแทนพืชบางชนิดที่มีปริมาณของกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงในอาหารเลี้ยงปลานิลทำให้สามารถลดต้นทุนในการใช้น้ำมันจากปลาทะเลที่มีราคาแพง พืชที่ใช้ทดแทนมีหลากหลายชนิด และยังเป็นพืชท้องถิ่นที่หาได้ง่าย Santos et al. (2014) ศึกษาเกี่ยวกับการเสริมกากงาม้อนทดแทนน้ำมันถั่วเหลืองนั้นพบว่ามีการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 และยังเพิ่มปริมาณ Eicosapentaenoic acid (EPA)

และ Docosahexenoic acid (DHA) ของชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 64.89 และ 85.55 แสดงให้เห็นว่าปลานิลนั้นสามารถสังเคราะห์กรดไขมันเหล่านี้ได้ และน้ำมันงาม้อน (perilla seed oil) เป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงค่าเฉลี่ยร้อยละ 76.63 และโอเมก้า 6 (Linoleic acid; LA) เฉลี่ยร้อยละ 12.90 (ไมตรี สุทธจิตต์ และคณะ, 2558) กรดไขมันชนิดนี้มีคุณประโยชน์สามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดอุดตัน ลดการเกาะตัวของเกล็ดเลือด ป้องกันโรคความจำเสื่อมในผู้สูงอายุ ช่วยกระตุ้นพัฒนาการสมอง และอารมณ์ในวัยเด็ก มีการนำมาบริโภคเป็นอาหาร และยาในกลุ่มประเทศอาเซียน (Kurowska et al., 2003)

แต่ในการผสมน้ำมันลงในอาหารโดยตรงนั้นเสี่ยงต่อการสูญเสียปริมาณสารสำคัญในน้ำมัน ในการแก้ปัญหาเหล่านี้จึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการกักเก็บน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน เพื่อช่วยคงสภาพสารสำคัญ เพิ่มประสิทธิภาพการละลายของยาหรือสารสำคัญที่ไม่ละลายในน้ำ เพื่อนำส่งน้ำมันงาม้อนให้ปลาได้รับร่วมกับการกินอาหารอย่างเต็มประสิทธิภาพ ถือเป็นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อส่งเสริมสุขภาพ คุณภาพชีวิตที่ดีของผู้สูงอายุ และกลุ่มคนทั่วไป อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปลานิลที่เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจ และสามารถนำความรู้ที่ได้นี้ไปปรับใช้กับสัตว์น้ำชนิดอื่นได้ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อน ต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 EPA และ DHA ในปลานิล

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการตั้งตำรับไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อน
2. ศึกษาผลของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 EPA และ DHA ในปลานิล

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตำรับไมโครอิมัลชันที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เสริมอาหารในปลานิล
2. เพื่อทราบความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อน ต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 EPA และ DHA ในปลานิล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สังคมไทยมีการพัฒนาอย่างยั่งยืน และเป็นสังคมคุณธรรมมีธรรมาภิบาลมีความพร้อมในการเป็นสังคมสูงวัยยกระดับการจัดการสามารถแก้ไขปัญหา และปรับตัวได้ทันต่อพลวัตการเปลี่ยนแปลงของโลก การก้าวเข้าสู่สังคมสูงวัยของประเทศไทยส่งผลให้สินค้าและบริการในอุตสาหกรรมการแพทย์ และสุขภาพเป็นที่ต้องการเพิ่มขึ้น (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2565) ผู้สูงอายุควรบริโภคอาหารหลากหลายชนิดเพื่อให้คุณค่าทางโภชนาการครบตามที่ร่างกายต้องการโดยการรับประทานอาหารให้ครบ 5 หมู่ หากพฤติกรรมการบริโภคไม่ถูกต้องก็อาจก่อให้เกิดการเจ็บป่วยด้วยโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ ไขมันในเลือดสูง เบาหวาน ตับ ไต ความดันโลหิตสูง เก๊าท์ กระดูกพรุน และโลหิตจาง (วนัสรา เชาวน์นิยม และคณะ, 2559) การเสริมโอเมก้า 3 ถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือก เนื่องจากเป็นกรดไขมันดี ที่เป็นไขมันจำเป็นที่ร่างกายต้องการ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ช่วยป้องกันการอุดตันของหลอดเลือด ป้องกันมะเร็งบางชนิดได้ ป้องกันโรคความจำเสื่อม และลดความผิดปกติของสมองในวัยชราได้ (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2553)

งาม้อน

งาม้อน หรืองาขี้ม้อน (*Perilla frutescens*) เป็นพืชตระกูลเดียวกับกะเพราจัดอยู่ในวงศ์ Lamiaceae พบในประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลี เวียดนาม ไทย และประเทศอื่นในภูมิภาคเอเชีย (กัษมาพร ปัญต๊ะบุตร, 2562) สำหรับประเทศไทยงาม้อนเป็นพืชที่ปลูกมายาวนานในพื้นที่ภาคเหนือของไทย พบปลูกในหลายจังหวัด เช่น เชียงใหม่ เชียงราย น่าน พะเยา และแม่ฮ่องสอนเป็นต้น งาม้อนเป็นไม้พุ่มสูง 1–2 เมตร ลำต้นตั้งตรง เป็นสันสี่เหลี่ยม มีร่องตามยาว ใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม มีลักษณะรูปไข่กว้าง 3–5 เซนติเมตร ยาว 6–10 เซนติเมตร แผ่นใบมีขนนุ่มสีขาวทั้งสองด้าน ขอบใบหยักฟันเลื่อย ดอกช่อออกที่ปลายกิ่ง มีดอกย่อยจำนวนมาก กลีบดอกสีขาวเชื่อมติดกันเป็นหลอด ปลายแยกเป็นสองปาก ผลแห้งไม่แตก เมล็ดกลมขนาดเล็ก สีดำหรือน้ำตาลเข้ม (วงศ์สถิตย์ ฉั่วกุล, 2539)

งาม้อนเป็นพืชสมุนไพรที่มีประวัติการใช้เป็นทั้งอาหาร และยา สามารถบริโภคในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เมล็ดใช้ทานเปล่า เมล็ดนำไปคั่วแล้วตำผสมกับข้าวเหนียวผสมเกลือ

ซึ่งคนทางเหนือ นอกจากนั้นมีการแปรรูปจากงาม้อนหลายรูปแบบ เช่น งาม้อนคั่ว งาม้อนแผ่น ข้าวหลามงาม้อน คุกกี้งาม้อน ชางาม้อน รวมไปถึงเครื่องสำอางบำรุงผิว เมล็ดงาม้อนสามารถนำมาสกัดน้ำมัน โดยน้ำมันงาม้อนเป็นแหล่งของโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ที่มีส่วนช่วยในการบำรุงสมอง โดยปริมาณโอเมก้า 3 มีมากกว่าน้ำมันปลาจากปลาทะเลน้ำลึก ดังนั้นงาม้อนจึงเป็นแหล่งของแคลเซียม และโอเมก้าจากพืช ที่มีราคาไม่แพง และรับประทานง่าย (กัษมาพร ปัญต๊ะบุตร, 2562)

กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย หากขาดจะทำให้ร่างกายขาดความสมดุล รวมทั้งมีผลต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการต่าง ๆ ไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 พบมากในปลาทะเลน้ำลึก และยังพบได้ในงาม้อน กลุ่มโอเมก้า 6 พบได้ในน้ำมันพืช และถั่วต่าง ๆ มีคุณสมบัติทางเภสัชกรรมบางอย่าง เช่น ต้านจุลชีพ สารต้านอนุมูลอิสระ ความเป็นพิษต่อเซลล์ และต้านการอักเสบ การศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบของเมล็ดฝ้าย งาม้อน และแมงลัก พบว่ามีองค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้า 3 ร้อยละ 53.4, 65.6 และ 63.8 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid; PUFA) ร้อยละ 68.7, 78.3 และ 84.3 ปริมาณกรดไขมันที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืชน้ำมันแต่ละชนิด (Zamani-Ghaleshahi et al., 2020)

กรดไขมัน (fatty acid)

อนงนาฏ ไพนุพงศ์ (2562) ได้กล่าวไว้ว่ากรดไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาว (Long-chain hydrocarbon) หรือเรียกอีกชื่อว่าหมู่เอซิล (Acyl group) และมีหมู่ฟังก์ชันเป็นคาร์บอกซิล (Carboxyl group; -COOH) หนึ่งหมู่ที่ปลายไฮโดรคาร์บอนกรดไขมันส่วนใหญ่ในคนเรามีจำนวนคาร์บอนของสายกรดไขมันเป็นจำนวนคู่ สิ่งที่พบมากมีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 16-20 อะตอม พันธะคู่ภายในโมเลกุลกรดไขมันโดยส่วนใหญ่ในธรรมชาติมีรูปแบบการเรียงตัวแบบซิส (cis-configuration) สามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะคือ

1. จำแนกชนิดของกรดไขมันตามความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต

1.1 กรดไขมันที่ไม่จำเป็น (Nonessential fatty acid) เป็นกรดไขมันที่นอกจากจะได้รับจากอาหารแล้วร่างกายยังสามารถสังเคราะห์เองได้ เช่น กรดสเทียริก (Stearic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) และกรดปาล์มิติก (Palmitic acid)

1.2 กรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) เป็นกรดไขมันที่ร่างกายขาดไม่ได้ และร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้จำเป็นต้องได้จากแหล่งอื่น ตัวอย่าง เช่น กรดไลโนเลนิก (Alpha-linolenic acid; ALA) หรือกรดโอเมก้า 3 กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid; LA)

หรือกรดไขมันโอเมก้า 6 พบมากในพืช และกรดอะราชิโดนิก (Arachidonic acid; AA) ไม่พบในพืช แต่สัตว์จะสังเคราะห์ได้จากกรดไลโนเลอิก กรดไขมันจำเป็นที่สำคัญมากในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหน้าที่สำคัญคือเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพรอสทาแกลนดิน (Prostaglandin)

2. จำแนกชนิดของกรดไขมันตามโครงสร้างโดยอาศัยสมบัติของหมู่เอซิล

2.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีเฉพาะพันธะเดี่ยวระหว่างอะตอมของคาร์บอนในสารไฮโดรคาร์บอน พบมากในน้ำมันที่ได้จากสัตว์ส่วนมากมีสถานะเป็นของแข็ง กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่พบมากได้แก่ กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก กรดไขมันที่มีขนาดเล็ก

2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่แทรกอยู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนในสารไฮโดรคาร์บอน พบมากในน้ำมันพืช ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของเหลวมีจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดได้แก่ กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก ไขมันที่ได้จากสัตว์ และพืช ประกอบไปด้วยส่วนผสมของกรดไขมันหลายชนิดผสมที่มีร้อยละของกรดไขมันอิ่มตัวสูงจะเป็นของแข็ง เช่น ไขวัว แต่ถ้ามีร้อยละของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงก็จะเป็นน้ำมัน เช่น น้ำมันพืช กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเลขคี่ พบในสัตว์ทะเลมากกว่าสัตว์บก กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยคือ

2.2.1 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated หรือ Monoenoic fatty acid) พันธะคู่อยู่ระหว่าง C–9 และ C–10 เมื่อนับจากปลายคาร์บอกซิล เช่น กรดปาล์มมิติก

2.2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) เส้นพันธะคู่แรกอยู่ระหว่าง C–9 และ C–10 ส่วนคู่อื่น ๆ อยู่ระหว่างพันธะคู่พันธะแรกกับปลายเมทิลีน (methylene end) ระหว่างพันธะคู่ 2 พันธะมีหมู่เมทิลีน (–CH_2–; methylene group) ได้แก่ กรดไลโนเลอิก

2.2.3 ไอโคซานอยด์ (Eicosanoids) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีมากกว่า 1 พันธะคู่และมีคาร์บอน 20 อะตอมได้แก่ พรอสทาแกลนดิน ทรอมบอกเซน (Thomboxane) ลิวโคไตรอีน (Leukotriene)

การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันของงาม้อนจากพื้นที่ปลูกแตกต่างกันของ Siriamornpun et al. (2006) พบว่างาม้อนที่ปลูกในจังหวัดแม่ฮ่องสอน และเชียงใหม่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ร้อยละ 59.84 และ 56.96 ซึ่งปริมาณโอเมก้า 3 ที่แตกต่างกันนั้นอาจขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกงาม้อน

จากการศึกษาของ ไมตรี สุทธจิตต์ และคณะ (2558) พบว่าน้ำมันงาม้อนมีกรดไขมันโอเมก้า 3 ร้อยละ 76.63 โอเมก้า 6 ร้อยละ 12.90 กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) ร้อยละ 6.75

และกรดสเตียริก (Stearic acid) ร้อยละ 1.36 ทั้งนี้ในเมล็ดงาม้อนยังประกอบไปด้วยสารอาหารหลักได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน รวมถึงแร่ธาตุแมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก และสังกะสี

ปัจจุบันน้ำมันที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร เกษตรกรรม และยา เนื่องจากมีคุณสมบัติหลายด้าน ที่มีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ เพราะเป็นกรดไขมันที่ได้มาจากธรรมชาติ และมีความปลอดภัย (Chang and Nickerson, 2018) โอเมก้า 3 เป็นกรดไขมันจำเป็น กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่มีโอเมก้า 3 จากการรับประทานเท่านั้น มีการศึกษาพืชน้ำมันหลายชนิดที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันกลุ่มนี้ การใช้พืชน้ำมันทั้งเสริม และทดแทนน้ำมันปลามีแนวโน้มที่จะเพิ่มผลผลิตการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลกำไรสูงสุด จะเห็นได้ว่าพืชหลายชนิด เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันจากพืชชนิดอื่น ๆ สามารถใช้เสริมลงในอาหารเลี้ยงปลาได้ ยังแสดงให้เห็นว่าเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยโปรตีน โอเมก้า 3 และ 6 กรดไขมัน PUFA ที่ได้จากเมล็ดฝ้าย ดอกทานตะวัน ถั่วเหลือง และวอลนัท จะมีคุณสมบัติช่วยในเรื่องระบบภูมิคุ้มกันของปลา (Gwari et al., 2014) โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ แม้ว่าจะปรับเปลี่ยนกรดไขมัน และองค์ประกอบของร่างกายบ้างเล็กน้อย (Ayisi et al., 2019) จึงมีความสนใจที่จะใช้น้ำมันงาม้อนเพื่อเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิลเพื่อเป็นอาหารทางเลือกให้กับผู้บริโภค เนื่องจากปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่มีผลผลิตสูงที่สุด

ปลานิล (Nile tilapia)

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ถือเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่นิยมเลี้ยงมากทั้งในรูปแบบการค้า และเลี้ยงไว้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว และมีความทนสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ เนื้อมีรสชาติดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยโปรตีน กรดไขมันที่สำคัญ เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในการส่งออกนอกประเทศ จากสถิติผลผลิตปลานิลจากการเพาะเลี้ยงในปี 2559 มีมูลค่า 10,724 ล้านบาท ถึงปี 2563 มีมูลค่า 12,342 ล้านบาท ในพื้นที่ภาคเหนือผลผลิตรวมจากการเลี้ยงปลานิลในปี 2563 มีปริมาณ 43,895 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,543,734 บาท ในจังหวัดพะเยาพบว่าปริมาณผลผลิตอยู่ที่ 4,436 ตัน คิดเป็นมูลค่า 270,122 บาท (กรมประมง, 2565) จะสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร เพิ่มความเข้มแข็งของเศรษฐกิจฐานรากในพื้นที่ ให้พึ่งพาตนเองได้ และมีการกระจายรายได้สู่ชุมชน หรือท้องถิ่น

มากขึ้น มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในปีถัดไป เนื่องจากเกษตรกรหันมาสนใจในการเลี้ยงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การเพาะเลี้ยงปลานิลมีผลผลิตเพิ่มขึ้น รวมถึงปริมาณน้ำมีเพียงพอสำหรับการเลี้ยง (เกวลิน หนูฤทธิ์, 2564) ปลานิลมีโอกาสที่จะขยายเข้าสู่ตลาด ร้านอาหาร และภัตตาคารขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น และยังมีการส่งออกปลานิลในรูปแบบปลามีชีวิต ปลาสดแช่เย็น ปลาทั้งตัวแช่แข็ง และเนื้อปลาแช่แข็งสินค้าเหล่านี้คิดเป็นเพียงร้อยละ 5 ของปลาทั้งหมดที่ผลิตได้อีกร้อยละ 95 เป็นการบริโภคในประเทศทั้งหมด (เกวลิน หนูฤทธิ์, 2563) ซึ่งสอดคล้องกับการบริโภคที่สูง และสัดส่วนผู้สูงอายุที่เพิ่มมากขึ้น เป็นโอกาสในการพัฒนาสินค้าโดยเฉพาะประเภทอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น สัตว์น้ำ (กรมประมง, 2560) เป็นการส่งเสริมการเลือกรับประทานอาหารที่เหมาะสม และอาหารที่มีในท้องถิ่น (food availability) (วนัสรา เชาวน์นิยม และคณะ, 2559)

Justi et al. (2003) ศึกษาการทดแทนน้ำมันดอทานตะวันโดยน้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ (flaxseed oil) ในปลานิลระยะเวลาการทดลองแตกต่างกันที่ 10, 20 และ 30 วัน พบว่าในวันที่ 30 มีการสะสมของกรดไขมันโอเมก้า 3 สูง PUFA และอัตราส่วนโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 ที่ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการให้อาหารมีผลต่อการสะสมกรดไขมัน

การศึกษาอิทธิพลของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์ม 3 ชนิดต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การทดลองการให้อาหารเป็นเวลา 20 สัปดาห์ ของปลานิลลูกผสมสีแดง (*Oreochromis* sp.) น้ำหนักเริ่มต้น 31.24±0.05 กรัม อาหารที่ใช้เป็นสูตรอาหารที่มีการเติมน้ำมันปลา (FO) น้ำมันปาล์มดิบ (CPO) กรดไขมันปาล์มกลั่น (PFAD) น้ำมันปาล์มกึ่งบริสุทธิ์ (RBDPO) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ของน้ำมันทั้งหมด ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของน้ำมันปาล์ม CPO, PFAD และ RBDPO เพื่อทดแทนน้ำมันปลาโดยไม่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และการสะสมของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มทั้ง 3 ไม่แตกต่างกัน แต่ในเนื้อปลาที่เลี้ยงอาหาร FO มีความเข้มข้นของ EPA และ DHA สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปลาที่เลี้ยงด้วยน้ำมันปาล์ม อย่างไรก็ตามต้นทุนของ PFAD ถูกกว่าเมื่อเทียบกับ CPO, RBDPO และ FO (Bahurmiz and Ng, 2007)

การใช้กากของเมล็ดเชีย (chai bran) ร้อยละ 5 ทดแทนรำ ปลายข้าว และน้ำมันถั่วเหลืองในสูตรอาหารทดลองใช้เลี้ยงปลานิลน้ำหนักเริ่มต้น 7.49±0.93 กรัม พบว่า อัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน และในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมกากเมล็ดเชียมีการสะสมของกรดไขมัน DHA ที่เพิ่มขึ้นจาก 19.55 เป็น 31.99 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม (Silva et al., 2014)

การทดแทนน้ำมันดอกทานตะวันด้วยน้ำมันงาม้อน ในอาหารปลานิลที่ระยะเวลาในการเลี้ยงต่างกัน ที่ 0, 10, 20, และ 30 วัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล แต่โอเมก้า 6 ลดลง และหลังจาก 20 วันพบปริมาณโอเมก้า 3, โอเมก้า 6, PUFA/SFA และ PUFA/MUFA มีค่าคงที่ (Carbonera et al., 2014) ผลการเสริมกากงาม้อนต่อองค์ประกอบของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล วิเคราะห์อาหารที่ผสมกากงาม้อนมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 มากกว่าอาหารชุดควบคุม และหลังจากการเลี้ยงพบปริมาณโอเมก้า 3 เพิ่มขึ้นในเนื้อปลานิลเช่นกัน (Santos et al., 2014)

Zanqui et al. (2016) ศึกษาการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 โดยใช้อาหารที่เสริมด้วยเมล็ดแฟลกซ์บด (flaxseed flour) ซึ่งเป็นผลผลิตจากผลพลอยได้โดยใช้การอบแห้ง และใช้วิธีการอบแบบดั้งเดิมเพื่อคงคุณภาพไขมันของอาหารที่อุดมไปด้วยกรดไขมัน ALA เป็นระยะเวลา 60 วัน เปรียบเทียบกับอาหารชุดควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของเมล็ดแฟลกซ์บด ผลของปลานิลที่เลี้ยงด้วยเมล็ดแฟลกซ์พบว่ามีกรดไขมัน ALA รวมถึง EPA และ DHA ที่สูงขึ้นกว่าชุดควบคุม การเพิ่มเมล็ดแฟลกซ์ในอาหารปลารวมถึงการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้นั้นให้เกิดประโยชน์สูงสุด และอาจกลายเป็นกลยุทธ์ทางธุรกิจที่ดีต่อไปได้

การศึกษาการทดแทนน้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) โดยใช้น้ำมันเมล็ดองุ่น (Japanese grape seed oil) ในปลานิล (*O. niloticus*) ด้วยน้ำหนักเริ่มต้น 101.73 กรัม ปริมาณน้ำมันที่ความเข้มข้นร้อยละ 4.2 เท่ากันทั้ง 2 ชุดการทดลอง ผลของกรดไขมัน ALA, EPA และ DHA นั้นสูงกว่าการใช้น้ำมันถั่วเหลืองในสูตรอาหาร ที่ระยะเวลา 15 วัน เท่ากับ 34.54, 1.140 และ 19.06 มิลลิกรัมต่อไขมันรวม 100 กรัม และผลที่ 30 วัน เท่ากับ 45.20, 1.72 และ 29.08 มิลลิกรัมต่อไขมันรวม 100 กรัม (Oliveira et al., 2018)

ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการเสริมน้ำมันที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันลงไปในสูตรอาหารโดยตรง มีข้อจำกัดคือต้องคำนวณสูตรของสัดส่วนในอาหารขึ้นใหม่ และกระบวนการเก็บรักษาอาหารให้คงสภาพสารสำคัญที่ต้องการไว้ระหว่างที่ใช้ในการเลี้ยงอาจเป็นไปได้ยาก และปัญหาที่พบคือปริมาณน้ำมันที่มากเกินไปขณะที่ให้อาหารปลา น้ำมันบางส่วนจะเกาะตัวกับส่วนผสมที่อัดรวมกันอยู่ในเม็ดอาหาร แต่น้ำมันบางส่วนที่อยู่บริเวณผิวของเม็ดอาหาร เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำจะไม่ละลายไปกับน้ำ แต่จะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ ถ้าปริมาณน้ำมันเหล่านี้สะสมตลอดการเลี้ยงก็จะก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลา เพื่อช่วยลดการสูญเสียปริมาณน้ำมัน และสารสำคัญ จึงสนใจที่จะนำเอาเทคนิคไมโครอิมัลชันเข้ามาช่วยในเรื่องการเก็บรักษาน้ำมัน ที่สามารถเสริมลงไปในอาหาร

สำเร็จรูปโดยไม่เข้าไปเปลี่ยนแปลงสัดส่วนคุณค่าทางโภชนาการที่สัตว์น้ำจะได้รับ อีกทั้งยังทำให้ได้รับสารสำคัญได้เต็มประสิทธิภาพ

อิมัลชัน (Emulsion)

วราภรณ์ ประเสริฐ (2560) กล่าวว่าอิมัลชันเป็นระบบคอลลอยด์ (colloid) ที่ประกอบด้วยของเหลวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 1 นาโนเมตร ถึงขนาดไมโครเมตร (McClements, 2012) ซึ่งปกติไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำมันกับน้ำ โดยของเหลวส่วนหนึ่งจะแตกตัวเป็นหยดขนาดเล็ก เรียกว่า วัฏภาคภายใน หรือส่วนที่กระจายตัว (internal or dispersed phase) ซึ่งจะกระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า วัฏภาคภายนอก (external or continuous phase) หรือส่วนที่ต่อเนื่อง การแบ่งประเภทของอิมัลชันโดยวัฏภาคภายใน และภายนอกเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil–in–water emulsion: O/W) มีน้ำมันเป็นวัฏภาคภายในและน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก เช่น น้ำนม น้ำสลัด และมายองเนส เป็นต้น ข้อสังเกต หรือวิธีทดสอบอิมัลชันประเภทนี้คือ สามารถทำให้เจือจางได้โดยการเติมน้ำ

2. เมื่ออิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water–in–oil emulsion: W/O) มีน้ำเป็นวัฏภาคภายในและน้ำมันเป็นวัฏภาคภายนอก เช่น เนย และมาการิน เป็นต้น ข้อสังเกตหรือวิธีทดสอบอิมัลชันประเภทนี้คือ สามารถทำให้เจือจางด้วยการเติมน้ำมัน

การแบ่งชนิดอิมัลชันโดยใช้ขนาดอนุภาค และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็นเกณฑ์ เมื่อแบ่งประเภทของอิมัลชัน โดยใช้ขนาดอนุภาค และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ อิมัลชัน นาโนอิมัลชัน และไมโครอิมัลชัน

นาโนอิมัลชัน (Nanoemulsion)

ขนาดของนาโนอิมัลชัน ได้ถูกรายงานไว้มากมาย โดยมีอนุภาคขนาดใหญ่ (upper size) 100 หรือ 200 หรือ 500 นาโนเมตร โดยทั่วไปมักจะมีรัศมีของอนุภาค น้อยกว่า 100 นาโนเมตร (Souto et al., 2022) จะมีลักษณะที่มีความโปร่งใส ไปจนถึงลักษณะที่เป็นสีขาวขุ่นขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค โดยมีคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็นชนิดที่มีแนวโน้มจะสูญเสียความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (metastable) (วราภรณ์ ประเสริฐ, 2560) นาโนอิมัลชันเป็นระบบที่ไม่สมดุล จึงไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ ในกระบวนการเกิดจะต้องอาศัยพลังงานจากเครื่องมือกล หรือศักย์ไฟฟ้าของสารประกอบ นาโนอิมัลชันยังมีความคงตัวทางจลนศาสตร์ มีความหนืดต่ำ มีลักษณะที่โปร่งแสง จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายวัตถุประสงค์เช่น การใช้เป็นระบบนำส่งยา และสารทางเครื่องสำอางผ่านทางผิวหนัง โดยนาโนอิมัลชันรวมถึง

ไมโครอิมัลชันถือว่าเป็นนาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) เป็นเทคนิคที่พัฒนาอนุภาคในระดับนาโน ซึ่งการนำมาใช้ทางการแพทย์ และเภสัชกรรมเป็นที่สนใจมากขึ้น (วรนันท์ รังสิมาวงศ์ และธนะเศรษฐ์ ง้าวหิรัญพัฒน์, 2557)

ศิริกาญจน์ เพ็งอ้น และคณะ (2554) ศึกษาการต้านจุลชีพ *Streptococcus mutans* ที่เป็นเชื้อก่อโรคทางทันตกรรม จากนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ น้ำมันกานพลู น้ำมันสเปียมินต์ น้ำมันเปปเปอร์มินต์ น้ำมันออปทามินต์ น้ำมันยูคาลิปตัส และน้ำมันทีทรี ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1:1 ผลการยับยั้งเชื้อโดยใช้วิธีเจือจางความเข้มข้นของนาโนอิมัลชัน คือ ไม่เจือจาง เจือจาง 10 เท่า และเจือจาง 100 เท่า พบว่ากลุ่มน้ำมันกานพลู น้ำมันสเปียมินต์ และน้ำมันทีทรี แบบไม่เจือจางก็สามารถยับยั้งเชื้อ *S. mutans* ได้ ส่วนที่เจือจางระดับ 10 และ 100 เท่า พบว่า ความสามารถในการยับยั้งเชื้อลดลง

ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไมโครอิมัลชันจัดเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีขนาดอนุภาค 200–400 นาโนเมตร เป็นระบบที่มีเสถียรภาพดีทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic) และสามารถเกิดได้เองโดยไม่ต้องอาศัยแรง หรือความร้อนในการเตรียม ประกอบด้วยวัฏภาคน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) สารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) และวัฏภาคน้ำ ไมโครอิมัลชันมีลักษณะโปร่งแสง หรือโปร่งใส (Ganguly, 2014)

ไมโครอิมัลชันเป็นระบบนำส่งยา (Drug delivery system) ที่ได้รับความนิยมในทางเภสัชกรรม เพราะเป็นระบบนำส่งยาที่สามารถบรรจุยาได้ปริมาณมาก และกักเก็บได้ทั้งยาที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ และชอบไขมัน (Hydrophilic and lipophilic drugs) นอกจากนี้ยังเป็นระบบนำส่งยาที่มีความเสถียรมีอายุการใช้งานนาน (Long shelf-life) (ธนะเศรษฐ์ ง้าวหิรัญพัฒน์, 2561) เป็นรูปแบบตำรับที่ช่วยเพิ่มการละลายของตัวยา หรือสารสำคัญสามารถป้องกันการเสื่อมสลายของสารสำคัญ ระบบไมโครอิมัลชันเป็นอีกเทคนิคที่มีความนิยม เนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็กมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และอาหาร วัตถุประสงค์หลักคือ เพิ่มความคงตัว และประสิทธิภาพในการนำส่งตัวยา หรือสารสำคัญ (สุกรรณิการ์ ทับทิมศรี, 2560) โดยหาบริเวณที่เกิดไมโครอิมัลชัน (Microemulsion region) ได้จากการสร้างแผนภาพไตรภาคเทียม (Pseudoternary phase diagram) (อัจฉราภรณ์ สิงห์หาญ และรัตนา อินทรานุปกรณ์, 2558)

การศึกษาอิมัลชันน้ำมันกานพลูต่อการต้านแบคทีเรีย โดยใช้สารลดแรงตึงผิว Span 20 ร่วมกับ Tween 20 ผสมน้ำมันกานพลูร้อยละ 15 และ 37.5 โดยน้ำหนัก พบว่าขนาดอนุภาค

เฉลี่ยต่ำที่สุด และไม่เปลี่ยนแปลงตามอายุ และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าเมื่อใช้ Tween 20 เพียงตัวเดียว (ภัทรวรรณ หมกทอง และคณะ, 2553)

การศึกษาน้ำมันสกัดขมิ้นชันในรูปแบบนาโนอิมัลชัน และไมโครอิมัลชันผสมในอาหารเลี้ยงปลานิล สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันในปลานิลได้ พบข้อดีคือสามารถเก็บรักษาน้ำมันสมุนไพร และช่วยลดปริมาณของน้ำมันขมิ้นที่ใช้ผสมทำให้ประหยัดต้นทุนในการผลิต (สุรชัย พิกุลแก้ว, 2557)

การทำอิมัลชันมีทั้งแบบนาโนอิมัลชัน และไมโครอิมัลชัน โดยการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ระบุว่า การทำไมโครอิมัลชันมีข้อดีคือ มีหยดวัฏภาคภายในขนาดเล็กมากทำให้มีพื้นผิวประจันจำนวนมาก และมีพลังงานอิสระที่ผิวมากจึงมีความสามารถในการซึมผ่านได้ดีเพื่อช่วยเพิ่มการซึมผ่านของยา หรือสารที่ต้องการนำส่ง ช่วยกักเก็บสารสกัดที่สลายตัวได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นระบบที่มีเสถียรภาพดีทางอุณหพลศาสตร์ที่ต่างจากอิมัลชันทั่วไป (Sirikarn et al., 2016) น้ำมันสามารถสูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีได้ และมีประสิทธิภาพการดูดซึมได้ไม่ดี เนื่องจากคุณสมบัติที่ละลายน้ำไม่ได้ มีการคิดค้นแนวทางในการห่อหุ้มน้ำมันในรูปแบบไมโครอิมัลชันเพื่อช่วยในการดูดซึมผ่านผิวหนังได้ดี และความเสถียรภาพทางเคมีที่ดีขึ้น ด้วยลักษณะที่ใสหรือขุ่นเพียงเล็กน้อยนั้นจะไม่ไปรบกวนลักษณะที่ปรากฏเดิมสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาหารหรือเครื่องดื่มได้ (วราภรณ์ ประเสริฐ, 2560) ไมโครอิมัลชันสามารถเตรียมโดยวิธี aqueous titration เป็นวิธีที่ไม่ใช้ต้นทุน และเครื่องมือในการผลิตที่สูง สามารถเตรียมได้ง่าย

ในส่วนของนาโนอิมัลชันพบว่า เตรียมน้ำมันหอมระเหยให้อยู่ในรูปนาโนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำที่มีความเข้ากันได้ดีกับน้ำและมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ อีกทั้งยังช่วยลดการระคายเคืองเมื่อสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง (ศิริกาญจน์ เพ็งอ้น และคณะ, 2554) มีการศึกษาเกี่ยวกับข้อจำกัดด้วยความไม่คงตัวของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยต่อการเกิดออสวอล์ดไรเพนนิ่ง (Ostwald ripening) เกิดจากน้ำมันเคลื่อนตัวโดยการแพร่จากอนุภาคน้ำมันขนาดเล็กไปสู่อนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่ ทำให้ขนาดอนุภาคน้ำมันเฉลี่ยของนาโนอิมัลชันเพิ่มขึ้นตามเวลา (สุวิมล อริยประกาย, 2562)

เทคนิคไมโครอิมัลชัน สามารถทำได้โดย การปรับสารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวร่วมให้เข้ากับตัวยา หรือสารสำคัญ การเปลี่ยนน้ำมันงาม้อนให้อยู่ในรูปไมโครอิมัลชันเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และอยู่ในรูปแบบการใช้งานอย่างง่าย เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล ด้วยกระแสความตระหนักด้านสุขภาพจะเพิ่มอุปสงค์

ต่อสินค้าเกษตรปลอดภัย และผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ปรับโครงสร้างเศรษฐกิจจากการขับเคลื่อนภาคการผลิต และบริการแห่งอนาคตที่สร้างมูลค่าเพิ่มได้สูง และให้ความสำคัญกับความยั่งยืนตามแผน แนวทาง และเป้าหมายของยุทธศาสตร์ชาติตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2565) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรของโลก และประเทศไทยก้าวสู่สังคมผู้สูงอายุการบริโภคอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้นโดยเฉพาะอาหารเพื่อสุขภาพเช่น สัตว์น้ำมีโอกาสได้รับความนิยมในการบริโภคสูง (กรมประมง, 2560) จึงสนใจศึกษาการใช้น้ำมันงาม้อนและไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนสำหรับใช้เสริมในอาหารเลี้ยงปลานิล ซึ่งจะเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อปลานิล รวมไปถึงองค์ความรู้ที่ได้นี้ยังสามารถนำไปต่อยอดกับสัตว์ชนิดอื่นต่อไปได้ในอนาคต

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการพัฒนาตำรับไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล จะแบ่งออกเป็น 3 การทดลองได้แก่ การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล, การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน และผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล การวิจัยครั้งนี้ได้รับการพิจารณา และอนุมัติจากคณะกรรมการจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่รับรองโครงการ 1-017-66 เลขที่คำขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-10203-2565

การทดลองที่ 1 การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล

สภาวะทดลอง และสัตว์ทดลอง

เตรียมปลานิลเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 853±50.90 กรัม เลี้ยงในกระชังแขวนลอย (ขนาด 3x5 เมตร ลึก 1.5 เมตร) อัตราการปล่อย 15 ตัวต่อกระชัง พักปลาก่อนทดลองเป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยให้อาหารร้อยละ 3 ต่อน้ำหนักตัวปลา ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เวลา 08:30 และ 17:00 น. ของทุกวัน เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน ทำการศึกษาในพื้นที่ปฏิบัติการสาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

อาหารทดลอง

อาหารทดลองที่ใช้เป็นอาหารสำเร็จรูปชนิดลอยน้ำสำหรับปลาน้ำจืดที่มีโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 และอาหารสำเร็จรูปที่ผสมด้วยน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (w/w) นำอาหารทดลองที่ใช้ทั้ง 2 รูปแบบ ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ของอาหาร ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) ใช้วิธี In house method

TE-CH-208 based on AOAC (AOAC, 2012) โดยวิเคราะห์เถ้า (Ash) ความชื้น (Moisture) ไขมัน (Fat) โปรตีน (Protein) คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) และพลังงาน (Energy)

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิล

วิเคราะห์กรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวทั้งหมดในเนื้อปลาจำนวน 5 ตัวอย่าง ได้แก่ เนื้อปลานิลก่อนเริ่มการทดลอง เนื้อปลานิลหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมด้วยน้ำมันงาม้อนความร้อยละ 6 ที่ระยะเวลา 30 และ 60 วัน เนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ โดยใช้วิธี GC-MS ตามวิธีของ Bligh and Dyer (Bligh and Dyer, 1959)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอาหาร 2 รูปแบบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติ Independent t-test โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 27 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลาทั้งหมด ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเนื้อปลานิลก่อนเริ่มต้นการทดลอง เนื้อปลานิลหลังจากได้รับอาหารสำเร็จรูปผสมด้วยน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ที่ระยะเวลา 30 และ 60 วัน เนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance; ANOVA) ของกลุ่มตัวอย่าง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Ducan's New Multiple Rang Test โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 27 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

การทดลองที่ 2 การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน

การเตรียมสูตรตำรับไมโครอิมัลชัน

ทำการพัฒนาตำรับไมโครอิมัลชันพื้นฐาน โดยวิธีการสร้างแผนวัฏภาคไตรภาคเทียม (Pseudoternary phase diagram) เพื่อหาสัดส่วนของ สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวร่วมระหว่าง Tween 80 และ Span 80 วัฏภาคน้ำมัน คือน้ำมันงาม้อน และวัฏภาคน้ำ คือน้ำกลั่น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวร่วม (Surfactant and co-surfactant) สารที่ใช้คือ Tween 80 และ Span 80 ทำการชั่งส่วนผสมทั้งสองโดยใช้สัดส่วน 1:1 (w/w)

2. วัฏภาคน้ำมัน (Oil) ชั่งน้ำมันงาม้อนผสมลงในสารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวในสัดส่วน 1:9, 2:8 และ 3:7 (w/w) ลงในขวดที่ปิดสนิทเขย่าเบา ๆ และช้าให้ส่วนผสมเข้ากัน

3. วัฏภาคน้ำ (Water) ทำการไตเตรทส่วนผสมด้วยน้ำครั้งละ 1 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเขย่าเบา ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกปริมาตรน้ำสุดท้ายก่อนที่ส่วนผสมจะเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่น นำสัดส่วนของส่วนผสมได้แก่ สารลดแรงตึงผิว น้ำมัน และน้ำไปคำนวณเป็นร้อยละ และนำไปสร้างแผนภาพวัฏภาคไตรภาคเทียม

ตำรับไมโครอิมัลชันที่ใช้สัดส่วนของวัฏภาคน้ำมันงาม้อน และสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อน เพื่อหาสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง Tween 80 และ Span 80 ในสัดส่วน 1:1 (w/w) อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันงาม้อนและสารลดแรงตึงผิวที่ 1:9, 2:8 และ 3:7 (w/w) ทำการไทเตรทวัฏภาคน้ำจนถึงจุดที่เปลี่ยนจากใสเป็นขุ่น (ตาราง 1) เปรียบเทียบบริเวณที่เกิดไมโครอิมัลชัน หลังจากได้สูตรที่เหมาะสมจะทำการเตรียมไมโครอิมัลชันที่ผสมกับน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 (เป็นชุดควบคุมของการเสริมไมโครอิมัลชัน) ไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 (ตาราง 2) ในการเตรียมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนทั้ง 2 ความเข้มข้นได้ทำการหาปริมาณของตัวละลายที่ผสมอยู่ในตัวทำละลายจากสูตร C=m/V โดยปริมาณของน้ำมันงาม้อนคิดเป็น 10.50 กรัมในส่วนผสมไมโครอิมัลชันรวม 37.8 กรัม และนำไมโครอิมัลชันดังกล่าวผสมกับอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำ

การศึกษาคุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชัน

เก็บตำรับไมโครอิมัลชันในอุณหภูมิห้องนาน 45 วัน ทำการประเมินลักษณะของตำรับด้วยตาเปล่า (visual observation) ตรวจสอบสี (color) ความใส (transparency) การแยกชั้น และวัดความหนืด (viscosity)

การวัดขนาดอนุภาคของตำรับไมโครอิมัลชัน

นำตำรับไมโครอิมัลชันที่ต้องการวัดค่าใส่ลงในคิวเวทท์ (cuvette) สูงประมาณ 1.5 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (Mean particle size) และการกระจายตัว

(Polydispersity Index; PDI) โดยเครื่อง Zetasizer Nano series (Zetasizer®, Malvern Instruments Ltd., Malvern, UK)

ตาราง 1 ส่วนประกอบของตำรับไมโครอิมัลชันที่ใช้สัดส่วนของวัฏภาคน้ำมันงาม้อนและสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

Formulations	Compositions (w/w)		
	Perilla oil	Tween 80: Span 80	water
ME1	3.50	31.50	3.50
ME2	7.00	28.00	3.15
ME3	10.50	24.50	2.80

Abbreviation: ME1=ratio 1:9 (w/w), ME2=ratio 2:8 (w/w), ME=ratio 3:7 (w/w).

ตาราง 2 ส่วนประกอบของตำรับไมโครอิมัลชันที่เลือกมาผสมกับน้ำมันงาม้อน

Composition	Microemulsion compositions (w/w)		
	PSO	4%PO	6%PO
perilla oil	0.00	3.72	5.58
Palm seed oil	3.72	0.00	0.00
Tween 80: Span 80	8.69	8.69	13.03
Water	0.99	0.99	1.49

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same row indicate significantly different ($p<0.05$). Abbreviation: PSO=palm oil, 4%PO=4% perilla oil, 6%PO=6% perilla oil.

การทดลองที่ 3 ผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล

สภาวะทดลอง และสัตว์ทดลอง

เตรียมปลานิลเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 295.61±20.18 กรัม อัตราการปล่อย 5 ตัวต่อถัง เลี้ยงในถังทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 เมตร สูง 0.5 เมตร ระดับน้ำลึก 0.38 เมตร พักปลาก่อนทดลองเป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยให้อาหารร้อยละ 3 ต่อน้ำหนักตัวปลา ให้อาหารวันละ 1 มื้อ เวลา 12.00 น. ของทุกวัน และเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 2 วัน ทำการศึกษา

ในพื้นที่ปฏิบัติการสาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบไปด้วย 6 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ ให้อาหารเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยแต่ละชุดการทดลองเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสำเร็จรูปไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (ชุดควบคุม) เตรียมอาหารโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปชนิดลอยน้ำสำหรับปลาน้ำจืด ที่มีโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 30

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 เตรียมอาหารโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมน้ำมันงาม้อนสัดส่วน 4 มิลลิลิตร ต่ออาหาร 100 กรัม

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 เตรียมอาหารโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมน้ำมันงาม้อนสัดส่วน 6 มิลลิลิตร ต่ออาหาร 100 กรัม

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารผสมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 เตรียมอาหารโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมน้ำมันเมล็ดปาล์มสัดส่วน 10.5 กรัม ในส่วนผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 13.4 กรัม ต่ออาหาร 100 กรัม

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารผสมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 เตรียมอาหารโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมน้ำมันงาม้อนสัดส่วน 10.5 กรัม ในส่วนผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 13.4 กรัม ต่ออาหาร 100 กรัม

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารผสมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 เตรียมอาหารโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมน้ำมันงาม้อนสัดส่วน 10.5 กรัม ในส่วนผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 20.10 กรัม ต่ออาหาร 100 กรัม

อาหารทดลอง และองค์ประกอบทางเคมี

อาหารทดลองที่ใช้เป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปชนิดลอยน้ำสำหรับปลาน้ำจืดที่มีโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยจะทำการคลุกผสมผสานน้ำมันงาม้อนในรูปแบบที่ต่างกันลงในอาหารเม็ดสำเร็จรูป จะประกอบไปด้วยอาหารทั้งหมด 6 รูปแบบ ได้แก่ อาหารเม็ด

สำเร็จรูปไม่ผสมน้ำมันงาม้อน, อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (w/w), อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (w/w), อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 (เป็นชุดควบคุมของการเสริมไมโครอิมัลชัน), อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4, และอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 นำอาหารทดลองที่ใช้ทั้ง 6 รูปแบบไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) วิเคราะห์หา เถ้า ความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และพลังงาน โดยใช้วิธี In house method TE-CH-208 based on AOAC (AOAC, 2012)

องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารทดลอง และเนื้อปลานิล

วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid) กลุ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) และกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) ในอาหารและเนื้อปลานิล โดยใช้วิธี GC-MS ตามวิธีของ Bligh and Dyer (Bligh and Dyer, 1959)

อัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิล

ทำการนับจำนวน วัดความยาว และชั่งน้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้น ระหว่าง และสิ้นสุดการทดลอง เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาหาค่าอัตราการเจริญเติบโตประกอบไปด้วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight Gain; WG) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average Daily Growth; ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate; SGR) อัตราการแลกเนื้อ (Feed Conversion Rate; FCR) อัตราการรอด (Survival Rate; SR) ตามการคำนวณค่าดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG, กรัม)

= น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง–น้ำหนักเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม/วัน)

= (น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง–น้ำหนักเมื่อเริ่มทดลอง) / ระยะเวลาทดลอง (วัน)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)

= (ln น้ำหนักปลาสุดท้าย–ln น้ำหนักปลาเริ่มต้น) ×100 / ระยะเวลาทดลอง (วัน)

อัตราการแลกเนื้อ

= น้ำหนักอาหารที่ให้ / น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

อัตราการรอด (%)

= (จำนวนปลาที่เหลือ / จำนวนปลาเริ่มต้น) x100

อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio)

= ราคาปลา (บาท) / ต้นทุนค่าอาหาร (บาท)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล ทำการเปรียบเทียบของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้งหมด 6 รูปแบบ อัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิล ของปลานิลแต่ละชุดการทดลอง องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารทดลอง และเนื้อปลานิลทั้ง 6 ชุดการทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance; ANOVA) ของกลุ่มตัวอย่าง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 27 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การศึกษาการพัฒนาตำรับไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิล ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองได้แก่ การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล, การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน และผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล โดยมีผลการศึกษาดังนี้

การทดลองที่ 1 การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองประกอบไปด้วยอาหารสำเร็จรูปชนิดลอยน้ำสำหรับปลาน้ำจืด และอาหารสำเร็จรูปที่ผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 พบว่า ร้อยละของเถ้า ความชื้น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต มีค่าไม่แตกต่างกัน ร้อยละของไขมันในอาหารทดลองที่ผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 มีค่าเท่ากับ 10.86±0.99 กรัมต่ออาหาร 100 กรัม (g/100g) ซึ่งสูงกว่าอาหารสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และค่าพลังงานของอาหารทดลองที่ผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 มีค่าสูงกว่าอาหารสำเร็จรูปที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เท่ากับ 374.74 ± 8.93 กิโลแคลรี่ต่ออาหาร 100 กรัม (Kcal/100g) (ตาราง 3)

ตาราง 3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6

Proximate analysis	Diets	
	CF	CF6%PO
Ash (g/100g)	8.67 ± 0.50	8.57 ± 0.32
Moisture (g/100g)	8.22 ± 0.36	7.63 ± 0.53
Fat (g/100g)	7.35 ± 0.34	10.86 ± 0.99*
Protein (g/100g)	31.71 ± 1.25	30.38 ± 1.52
Carbohydrate (g/100g)	42.69 ± 2.30	43.00 ± 2.02
Energy (Kcal/100g)	273.42 ± 7.63	374.74 ± 8.93*

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same row indicate significantly different ($p<0.05$). Abbreviation: CF=Commercial feed, CF6%PO=Commercial feed+6% Perilla oil (w/w).

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิล (น้ำหนักเฉลี่ย 853±50.90 กรัม) หลังจากเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมด้วยน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ระยะเวลา 0, 30 และ 60 วัน เทียบกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่แบบแช่แข็งที่จำหน่ายตามท้องตลาดพบว่า เนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วัน หลังจากได้รับอาหารมีค่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid; SFA) ได้แก่ Lauric acid (C12:0), Myristic acid (C14:0), Palmitic acid (C16:0) และ Stearic acid (C18:0) เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลองเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ในส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid; MUFA) พบว่า Palmitoleic acid (C16:1n7) และ Oleic acid (C18:1n9c) มีค่าเพิ่มขึ้นในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ นอกจากนี้ยังพบว่า Oleic acid (C18:1n9c) ที่พบในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 60 วันหลังจากได้รับอาหาร ยังมีค่าสูงเท่ากับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนแช่แข็งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

กรณีของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid; PUFA) กลุ่มโอเมก้า 6 หรือ Linoleic acid (C18:2n6) และโอเมก้า 3 หรือ Alpha–linolenic acid (C18:3n3) พบว่า เนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) หากเทียบเนื้อปลานิลดังกล่าวกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนพบว่า กรดไขมันโอเมก้า 6 มีปริมาณเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนประมาณ 2 เท่า ในส่วนกรดไขมันโอเมก้า 3 ของเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตามระยะเวลาที่เลี้ยงปลานิลนาน 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหาร เพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 และ 7 เท่าตามลำดับ ที่น่าสนใจคือเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 60 วันมีค่ากรดไขมันดังกล่าวสูงกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ถึง 1.6 และ 14 เท่าตามลำดับ

สำหรับปริมาณสารเมแทบอไลต์ (metabolite) ของ Linolenic acid พบว่า Docosahexaenoic acid; DHA (C22:6n3) ในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วันมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน มากกว่าเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) และมากกว่าเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ประมาณ 2–3 เท่า ส่วน Eicosapentaenoic acid; EPA (C20:5n3) ไม่พบในเนื้อปลาทุกประเภท (ตาราง 4) ปริมาณกรดไขมันรวมทั้งหมดในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 เป็นระยะเวลา 30 และ 60 วัน พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวรวม (Total saturated fatty acid; TSFA), กรดไขมันไม่อิ่มตัวรวม (Total unsaturated fatty acid; TUFA), กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม (Total Monounsaturated fatty acid; TMUFA), กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม (Total polyunsaturated fatty acid; TPUFA) รวมทั้ง Total Omega 3 6 9 มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แต่สัดส่วน $\omega 6/\omega 3$ กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ผลเช่นเดียวกับในเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ (ตาราง 3) เป็นที่น่าสนใจว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อน 30 วัน มีปริมาณกรดไขมันรวมอีกทั้งสัดส่วน $\omega 6/\omega 3$ ใกล้เคียงกับในเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (ตาราง 5)

ตาราง 4 องค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6

Fatty acid composition	Nile tilapia			Atlantic salmon	Pangasius dory
	0 DAF	30 DAF	60 DAF		
Saturated fatty acid (g/100g)					
Lauric acid (C12:0)	0.09 ± 0.01^{b}	0.14 ± 0.01^{a}	0.15 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{c}	.000 ± 0.00^{c}
Myristic acid (C14:0)	0.09 ± 0.01^{b}	0.18 ±0.01^{a}	0.20 ± 0.10^{a}	0.06 ± 0.02^{b}	0.02 ± 0.00^{b}
Palmitic acid (C16:0)	0.56 ± 0.01^{b}	0.73 ± 0.06^{a}	0.73 ± 0.06^{a}	0.27 ± 0.01^{c}	0.13 ± 0.01^{d}
Stearic acid (C18:0)	0.09 ± 0.01^{c}	0.17 ± 0.01^{a}	0.15 ± 0.01^{b}	0.08 ± 0.01^{c}	0.03 ± 0.01^{d}
Monounsaturated fatty acid (g/100g)					
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.06 ± 0.01^{b}	0.19 ± 0.01^{a}	0.21 ± 0.03^{a}	0.07 ± 0.01^{b}	0.00 ± 0.00^{c}
Oleic acid (C18:1n9c)	0.45 ± 0.01^{c}	0.94 ± 0.04^{b}	1.03 ± 0.01^{a}	1.03 ± 0.01^{a}	0.15 ± 0.01^{d}
Erucic acid (C22:1n9)	0.00 ± 0.00^{b}	0.01 ± 0.01^{a}	0.01 ± 0.00^{a}	0.01 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{b}
Polyunsaturated fatty acid (g/100g)					
Linoleic acid (C18:2n6)	0.12 ± 0.02^{c}	0.26 ± 0.01^{b}	0.27 ± 0.01^{ab}	0.28 ± 0.02^{a}	0.03 ± 0.01^{d}
Alpha-linolenic acid (C18:3n3)	0.02 ± 0.01^{d}	0.07 ± 0.00^{c}	0.14 ± 0.00^{a}	0.09 ± 0.01^{b}	0.00 ± 0.00^{e}
Eicosapentaenoic acid (C20:5n3)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Docosahexaenoic acid (C22:6n3)	0.01 ± 0.00^{b}	0.03 ± 0.00^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.03 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{b}

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same row indicate significantly different ($p<0.05$). DAF= days after feeding.

ตาราง 5 องค์ประกอบกรดไขมันรวมในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6

Fatty acid composition	Nile tilapia			Atlantic salmon	Pangasius dory
	Initial (0 DAF)	30 DAF	60 DAF		
TSFA (mg/g)	0.86 ± 0.03^{b}	1.26 ± 0.04^{a}	1.27 ± 0.01^{a}	0.46 ± 0.01^{c}	0.18 ± 0.01^{d}
TUFA (mg/g)	0.78 ± 0.01^{c}	1.64 ± 0.08^{b}	1.83 ± 0.03^{a}	1.62 ± 0.02^{b}	0.20 ± 0.01^{d}
TMUFA (mg/g)	0.59 ± 0.01^{c}	1.20 ± 0.14^{ab}	1.31 ± 0.02^{a}	1.18 ± 0.01^{b}	0.15 ± 0.01^{d}
TPUFA (mg/g)	0.19 ± 0.01^{c}	0.44 ± 0.01^{b}	0.52 ± 0.02^{a}	0.44 ± 0.06^{b}	0.04 ± 0.01^{d}
Total omega 3 (mg/100g)	46.92 ± 0.58^{c}	133.16 ± 0.30^{b}	188.99 ± 0.54^{a}	133.86 ± 0.83^{b}	5.59 ± 0.43^{d}
Total omega 6 (mg/100g)	153.48 ± 0.50^{d}	291.31 ± 5.00^{b}	312.06 ± 0.29^{a}	282.47 ± 0.79^{c}	33.72 ± 0.03^{e}
Total omega 9 (mg/100g)	460.19 ± 0.85^{d}	948.89 ± 1.00^{c}	1,045.60 ± 0.92^{a}	1,036.20 ± 0.30^{b}	147.5 ± 0.96^{e}
ω6/ω3	3.26 ± 0.02^{b}	2.20 ± 0.01^{c}	1.65 ± 0.20^{d}	2.11 ± 0.02^{c}	6.03 ± 0.01^{a}

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same row indicate significantly different ($p<0.05$). DAF=days after feeding.

การทดลองที่ 2 การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน

คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่ใช้สัดส่วนของวัฏภาคน้ำมันงาม้อนและสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

การประเมินคุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่ใช้สัดส่วนของน้ำมันงาม้อนและสารลดแรงตึงผิวต่างกันทั้ง 3 ตำรับได้แก่ ME1 ME2 และ ME3 พบว่าทั้ง 3 ตำรับทั้งก่อน และหลังทดสอบมีความคงตัว ลักษณะความใสคงเดิม ไม่พบการแยกชั้น ทำการวัดขนาดอนุภาคเฉลี่ย การกระจายตัว ของระยะเวลาที่เก็บ 0 วัน (เริ่มต้น) และ 45 วัน พบว่า ตำรับ ME1 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 24.11±8.78 และ 18.63±5.52 นาโนเมตร (nm) ตำรับ ME2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 21.89±0.73 และ 14.73±3.73 นาโนเมตร ตำรับ ME3 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 34.65±7.76 และ 22.07±5.55 นาโนเมตรตามลำดับ โดยตำรับ ME3 มีความหนืดที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ ME1 และ ME2 ซึ่งมีความหนืดค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นจึงเลือกตำรับ ME3 ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป การกระจายของอนุภาค โดยเลือกสูตรตำรับไมโครอิมัลชัน ME ที่มีอัตราส่วนน้ำมันต่อสารลดแรงตึงที่ 3:7 เพื่อนำไปผสมน้ำมันงาม้อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 (w/w) (ตาราง 6)

คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่ผสมกับน้ำมันงาม้อน เมื่อเตรียมตำรับทั้ง 3 ได้แก่ ไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 (MEPSO) เป็นชุดควบคุม, ไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO), และไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) ทำการประเมินลักษณะของตำรับโดยการตรวจสอบสี ความใส และการแยกชั้น พบว่าทั้ง 3 ตำรับ มีลักษณะของสี ความใสคงเดิม ไม่เกิดการแยกชั้น ทำการวัดขนาดอนุภาคเฉลี่ย การกระจายตัว และวัดความหนืดของระยะเวลาที่เก็บ 0 วัน (เริ่มต้น) 30 วัน และ 45 วัน (ตาราง 7) พบว่า MEPSO มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.42±0.03, 3.27±0.38, และ 3.36±0.70 นาโนเมตร (nm) ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าตำรับ ME4%PO และ ME6%PO อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตำรับ ME4%PO มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 18.79±6.68, 21.95±1.03, และ 27.03±7.93 นาโนเมตร ME6%PO มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 15.64±2.57, 25.10±8.06, และ 25.85±19.42 นาโนเมตร

ตาราง 6 คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่ใช้สัดส่วนของวัฏภาคน้ำมันงาม้อน และสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

Formulations	0 day		45 days		
	Particle size (nm)	Polydispersity index	Particle size (nm)	Polydispersity index	Viscosity
ME1	24.11 ± 8.78[a]	0.25 ± 0.02[b]	18.63 ± 5.52[a]	0.21 ± 0.21[b]	561.40 ± 3.40[a]
ME2	21.89 ± 0.73[a]	0.29 ± 0.03[b]	14.73 ± 3.73[a]	0.27 ± 0.04[ab]	367.70 ± 1.95[a]
ME3	34.65 ± 7.76[a]	0.41 ±0.02[a]	22.07 ± 5.55[a]	0.34 ± 0.04[a]	257.40 ± 0.75[a]

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same column indicate significantly different ($p<0.05$). Abbreviation: ME1=ratio 1:9 (w/w), ME2=ratio 2:8 (w/w), ME=ratio 3:7 (w/w).

ตาราง 7 คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่เลือกมาผสมกับน้ำมันงาม้อน

Formulations	Day 0			Day 30			Day 45		
	Particle size (nm)	PDI	Viscosity	Particle size (nm)	PDI	Viscosity	Particle size (nm)	PDI	Viscosity
ME PSO	3.42 ± 0.03[b]	0.42 ± 0.09[a]	263.90 ± 2.26[a]	3.27 ± 0.38[b]	0.31 ± 0.10[a]	278.37 ± 13.81[a]	3.36 ± 0.70[a]	0.33 ± 0.02[a]	355.57 ± 3.31[a]
ME 4%PO	18.79 ± 6.68[a]	0.35 ± 0.03[a]	245.93 ± 15.51[ab]	21.95 ± 1.03[a]	0.44 ± 0.04[a]	252.43 ± 2.11[b]	27.03 ± 7.93[a]	0.32 ± 0.03[a]	294.60 ± 5.63[b]
ME 6%PO	15.64 ± 2.57[a]	0.32 ± 0.02[a]	239.53 ± 1.04[b]	25.10 ± 8.06[a]	0.36 ± 0.04[a]	246.67 ± 0.83[b]	25.85 ± 19.42[a]	0.31 ± 0.06[a]	282.30 ± 1.45[c]

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same column indicate significantly different ($p<0.05$).

การทดลองที่ 3 ผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล

1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารและเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองประกอบไปด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (CF), อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (4%PO), อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (6%PO), อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 (MEPSO), อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO), และ อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมกับไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) พบว่าร้อยละของเถ้า ความชื้น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ในส่วนของร้อยละของไขมันพบว่า มีปริมาณสูงในอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 มีค่าเท่ากับ 13.03 และ 13.90 g/100g ตามลำดับ และอาหารที่ไม่เสริมน้ำมันงาม้อนมีค่าร้อยละไขมันเท่ากับ 6.97 g/100g ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด การเพิ่มขึ้นของร้อยละของไขมันนั้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงาน โดยค่าพลังงานสูงสุดเท่ากับ 409.18 Kcal/100g ของอาหารผสมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 และค่าน้อยสุดเท่ากับ 365.09 Kcal/100g ของอาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (ตาราง 8)

1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน พบว่าร้อยละของเถ้า ความชื้น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ตามระยะเวลาการเลี้ยงที่ 30 และ 60 วัน ในเนื้อปลานิลหลังจากการทดลองพบว่า ค่าพลังงานมีค่าสูงในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มเท่ากับ 90.05 Kcal/100g ที่ 30 วัน แต่ในช่วง 60 วันกลับมีค่าลดลงเท่ากับ 81.37 Kcal/100g และยังพบว่าที่ระยะเวลาเลี้ยง 60 วัน ค่าพลังงานในเนื้อปลาของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 83.13–81.37 Kcal/100g (ตาราง 9)

ตาราง 8 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

Proximate analysis	Diets					
	CF	4%PO	6%PO	MEPSO	ME4%PO	ME6%PO
Ash (g/100g)	8.82	8.62	8.52	8.05	8.05	7.70
Moisture (g/100g)	8.62	7.93	7.77	8.07	7.78	7.38
Fat (g/100g)	6.97	9.26	10.58	11.56	13.03	13.90
Protein (g/100g)	31.05	29.51	30.13	29.29	28.51	26.93
Carbohydrate (g/100g)	44.54	44.68	43.00	43.03	42.63	44.09
Energy (Kcal/100g)	365.09	380.10	387.74	393.32	401.83	409.18

Abbreviation: Text in columns; CF=commercial feed, 4%PO=commercial feed adds 4% perilla oil, 6%PO= commercial feed adds 6%perilla oil, MEPSO=commercial feed adds microemulsion palm oil, ME4%PO=commercial feed adds microemulsion 4%perilla oil, ME6%PO=commercial feed adds microemulsion 6%perilla oil.

2. องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารและเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อรูปแบบต่างกัน

2.1 องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 รวมของอาหารที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อนมีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลอง เท่ากับ 145.11 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (mg/100g) และพบค่าน้อยที่สุดในอาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าเท่ากับ 40.40 mg/100g ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 6 รวมของอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) มีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลองเท่ากับ 6,015.90 mg/100g และพบปริมาณน้อยในอาหารที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (622.43 mg/100g) สัดส่วนของ $\omega 6/\omega 3$ ของอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 สูงกว่าทุกชุดการทดลอง (73.00) เนื่องจากกรดไขมันโอเมก้า 6 นั้นมีสัดส่วนที่สูงกว่าปริมาณของโอเมก้า 3 และสัดส่วน $\omega 6/\omega 3$ ของอาหารที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อนมีค่าน้อยกว่าทุกชุดการทดลอง (4.29) (ตาราง 10)

ตาราง 9 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ระยะเวลา 30 และ 60 วัน

Proximate analysis	Fillets											
	Day 30						Day 60					
	CF	4%PO	6%PO	MEPSO	ME4%PO	ME6%PO	CF	4%PO	6%PO	MEPSO	ME4%PO	ME6%PO
Ash (g/100g)	1.36	1.32	1.28	1.44	1.20	1.29	1.37	1.36	1.39	1.42	1.36	1.31
Moisture (g/100g)	79.11	79.38	79.32	78.72	79.83	79.34	78.52	78.32	79.21	79.31	80.30	77.51
Fat (g/100g)	0.19	0.25	0.47	0.45	0.38	0.30	0.21	0.17	0.30	0.21	0.45	0.26
Protein (g/100g)	19.93	20.55	20.23	21.5	20.22	20.67	21.81	20.91	21.09	19.87	19.64	20.46
Carbohydrate (g/100g)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.46
Energy (Kcal/100g)	81.43	84.45	88.15	90.05	84.30	85.38	89.13	85.17	87.06	81.37	82.61	86.02

Abbreviation: Text in columns; CF=commercial feed, 4%PO=commercial feed adds 4% perilla oil, 6%PO=commercial feed adds 6% perilla oil, MEPSO=commercial feed adds microemulsion palm oil, ME4%PO=commercial feed adds microemulsion 4%perilla oil, ME6%PO=commercial feed adds microemulsion 6%perilla oil.

ตาราง 10 องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารทดลองจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

Fatty acid composition	Diets					
	CF	4%PO	6%PO	MEPSO	ME4%PO	ME6%PO
Omega 3 (mg/100g)	145.11	40.40	97.72	57.79	85.26	82.41
Omega 6 (mg/100g)	622.43	3,345.59	4,419.42	2,058.82	5,128.30	6,015.90
ω6/ω3	4.29	82.81	45.23	35.63	60.15	73.00

Abbreviation: Text in columns; CF=commercial feed, 4%PO=commercial feed adds 4% perilla oil, 6%PO= commercial feed adds 6%perilla oil, MEPSO=commercial feed adds microemulsion palm oil, ME4%PO=commercial feed adds microemulsion 4%perilla oil, ME6%PO=commercial feed adds microemulsion 6%perilla oil.

2.2 องค์ประกอบกรดไขมันเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิลหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ได้แก่ อาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (CF), อาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (4%PO), อาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (6%PO), อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 (MEPSO), อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO), อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) พบว่ามีกรดไขมัน Linoleic acid (C18:2n6) ของการเสริมอาหารทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน จะอยู่ในช่วง 0.02–0.05 g/100g และ 60 วัน อยู่ในช่วง 0.02–0.06 g/100g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 3 ชนิด Alpha–Linolenic acid กรดไขมัน EPA และ DHA ไม่มีค่าเพิ่มขึ้นช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 30 และ 60 วัน (ตาราง 11 และ 12)

ปริมาณของกรดไขมันโอเมก้า 3 รวมช่วงระยะเวลาเลี้ยง 30 วัน ในเนื้อปลานิลที่เสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลองเท่ากับ 21.50 mg/100g รองลงมาเป็นเนื้อปลานิลจากการเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 เท่ากับ 12.09 mg/100g ปริมาณของกรดไขมันโอเมก้า 6 รวมพบสูงในเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (57.05 mg/100g) พบน้อยสุดในเนื้อปลานิลที่ให้อาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (25.4 mg/100g) (ตาราง 11)

ปริมาณของกรดไขมันโอเมก้า 3 รวมช่วงระยะเวลาเลี้ยง 60 วัน พบว่าในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าสูงกว่าทุกชุด

การทดลองเท่ากับ 25.15 mg/100g และในเนื้อปลานิลที่ให้อาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (5.83 mg/100g) น้อยกว่าทุกชุดการทดลอง พบปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 6 รวมมีค่าสูงในการเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (76.15 mg/100g) รองลงมาเป็นการเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (43.16 mg/100g) และพบน้อยสุดในเนื้อปลานิลที่ให้อาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (21.54 mg/100g)

สัดส่วนของ ω6/ω3 ของเนื้อปลานิลหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วันพบว่า เนื้อปลาจากการเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าน้อยกว่าทุกชุดการทดลองเท่ากับ 2.47 และในการเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 มีค่ามากกว่าทุกชุดการทดลอง (8.45) ในส่วนของระยะเวลาการเลี้ยงที่ 60 วัน พบว่าการอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 มีสัดส่วนของ ω6/ω3 น้อยกว่าทุกชุดการทดลอง (1.70) และในเนื้อปลานิลที่เสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 มีค่าสัดส่วนสูงกว่าทุกชุดการทดลอง (7.10) สอดคล้องกับระยะเวลา 30 วัน (ตาราง 12)

ตาราง 11 องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ระยะเวลา 30 วัน

Fatty acid composition	Fillets					
	CF	4%PO	6%PO	MEPSO	ME4%PO	ME6%PO
Linoleic acid (g/100g)	0.02	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05
Alpha-Linolenic acid (g/100g)	ND	ND	ND	ND	0.02	ND
EPA (g/100g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DHA (g/100g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Omega 3 (mg/100g)	7.04	11.60	12.09	10.00	21.50	5.82
Omega 6 (mg/100g)	25.47	32.57	57.05	49.92	53.16	49.20
ω6/ω3	3.62	2.81	4.72	4.99	2.47	8.45

Abbreviation: Text in rows; CF=commercial feed, 4%PO=commercial feed adds 4% perilla oil, 6%PO= commercial feed adds 6%perilla oil, MEPSO=commercial feed adds microemulsion palm oil, ME4%PO=commercial feed adds microemulsion 4%perilla oil, ME6%PO=commercial feed adds microemulsion 6%perilla oil.

ตาราง 12 องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ระยะเวลา 60 วัน

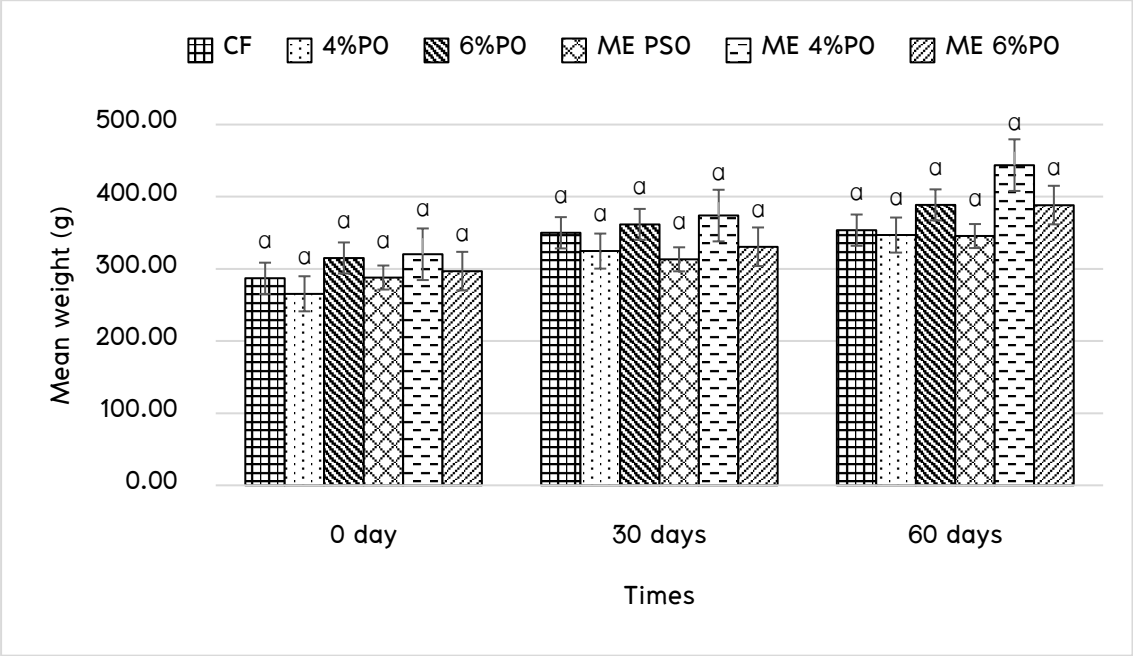
Fatty acid composition	Fillets					
	CF	4%PO	6%PO	MEPSO	ME4%PO	ME6%PO
Linoleic acid (g/100g)	0.02	0.02	0.04	0.02	0.06	0.04
Alpha-Linolenic acid (g/100g)	ND	ND	ND	ND	0.01	ND
EPA (g/100g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DHA (g/100g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Omega 3 (mg/100g)	5.83	13.41	9.54	7.56	25.15	6.08
Omega 6 (mg/100g)	21.54	22.81	40.09	26.62	76.15	43.16
ω6/ω3	3.69	1.70	4.20	3.52	3.03	7.10

Abbreviation: Text in columns; CF=commercial feed, 4%PO=commercial feed adds 4% perilla oil, 6%PO= commercial feed adds 6%perilla oil, MEPSO=commercial feed adds microemulsion palm oil, ME4%PO=commercial feed adds microemulsion 4%perilla oil, ME6%PO=commercial feed adds microemulsion 6%perilla oil.

2.3 อัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ที่ระยะเวลาทดลอง 60 วัน พบว่า ตลอดระยะเวลาทดลองปลานิลมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยปลานิลในทุกชุดการทดลองที่เลี้ยงจนอายุ 30 และ 60 วัน มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ภาพ 1) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักที่เพิ่มของทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยอยู่ระหว่าง 65.81-130.98 กรัม โดยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลอง 130.98 ± 74.75 กรัม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (1.10-2.18) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (0.36-0.55 %/วัน) อัตราการแลกเนื้อพบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตาราง 13) โดยชุดการทดลองที่เสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (1.11) ให้ค่าน้อยกว่าทุกชุดการทดลอง และชุดการทดลองที่เสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มให้ค่าอัตราการแลกเนื้อสูงกว่าทุกชุดการทดลอง (1.86)

อัตราการรอดของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกันพบว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม มีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 73.21 ซึ่งแตกต่างกับทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จะเห็นได้ว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 มีอัตรารอดสูงกว่าปลานิลที่เสริมด้วยน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตาราง 13)



ภาพ 1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกันระยะเวลา 60 วัน

อัตราผลตอบแทนอาหารต่อต้นทุนในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ได้แก่ อาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (CF), อาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (4%PO), อาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (6%PO), อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 (MEPSO), อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO) และอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ทุกชุดการทดลอง (ตาราง 14)

ตาราง 13 อัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิลจากการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ตลอดการทดลองระยะเวลา 60 วัน

Diets	Wi (g)	Wf (g)	WG (g)	ADG (g/day)	SGR (%/day)	FCR	SR (%)
CF	291.44 ± 59.59	372.65 ± 55.04	81.22 ± 4.55	1.36 ± 0.08	0.42 ± 0.10	1.48 ± 0.08	39.29 ± 15.15^{c}
4%PO	265.46 ± 31.62	366.57 ± 48.56	101.11 ± 41.19	1.69 ± 0.69	0.54 ± 0.19	1.31 ± 0.45	40.18 ± 3.79^{c}
6%PO	315.12 ± 25.03	408.96 ± 66.02	93.84 ± 45.25	1.56 ± 0.76	0.42 ± 0.15	1.46 ± 0.57	46.43 ± 5.05^{bc}
ME PSO	277.91 ± 3.92	343.72 ± 7.93	65.81 ± 11.85	1.10 ± 0.20	0.36 ± 0.06	1.86 ± 0.33	73.21 ± 2.53^{a}
ME 4%PO	320.24 ± 31.07	451.22 ± 95.37	130.98 ± 74.75	2.18 ± 1.24	0.55 ± 0.24	1.11 ± 0.53	59.82 ± 3.79^{ab}
ME 6%PO	296.88 ± 33.96	403.33 ± 44.85	106.45 ± 62.61	1.77 ± 1.04	0.51 ± 0.29	1.37 ± 0.62	59.82 ± 3.79^{ab}

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same column indicate significantly different ($p<0.05$).

Abbreviation: Text in rows; CF=commercial feed, 4%PO=commercial feed adds 4% perilla oil, 6%PO= commercial feed adds 6%perilla oil, MEPSO= commercial feed adds microemulsion palm oil, ME4%PO=commercial feed adds microemulsion 4%perilla oil, ME6%PO= commercial feed adds microemulsion 6%perilla oil. Text in columns; Wi=initial weight, Wf=final weight, WG=weight gain, ADG=average daily growth, SGR=specific growth rate, FCR=feed conversion rate, SR=survival rate.

ตาราง 14 อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนในการเลี้ยงปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกันระยะเวลา 60 วัน

	Diets					
	CF	**4%PO**	**6%PO**	**MEPSO**	**ME4%PO**	**ME6%PO**
Income (baht)	50.73 ± 17.93	48.54 ± 30.62	66.61 ± 28.55	51.73 ± 0.89	70.80 ± 38.43	69.11 ± 28.34
Fixed Cost (baht)	7.17 ± 1.07	6.64 ± 0.79	7.88 ± 0.63	7.20 ± 0.44	8.01 ± 0.78	7.45 ± 0.83
Variable Cost (baht)	23.96 ± 0.96	33.62 ± 10.88	33.57 ± 4.19	26.54 ± 1.02	41.04 ± 19.00	36.56 ± 5.80
Total Cost (baht)	31.13 ± 1.92	40.26 ± 11.57	41.45 ± 4.69	33.74 ± 1.37	49.05 ± 19.34	44.01 ± 5.39
Profit (baht)	29.37 ± 1.38	30.02 ± 21.38	37.10 ± 31.66	17.99 ± 1.00	54.54 ± 9.43	44.42 ± 0.92
B/C ratio	1.62 ± 0.54	1.89 ± 0.60	1.64 ± 0.76	1.53 ± 0.05	2.44 ± 0.16	2.09 ± 0.08

Note: Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same column indicate significantly different ($p<0.05$).

Abbreviation: Text in columns; CF=commercial feed, 4%PO=commercial feed adds 4% perilla oil, 6%PO=commercial feed adds 6%perilla oil, MEPSO=commercial feed adds microemulsion palm oil, ME4%PO=commercial feed adds microemulsion 4%perilla oil, ME6%PO=commercial feed adds microemulsion 6%perilla oil.

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารปลานิลส่งผลให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 หรือ Alpha-linolenic acid; ALA ในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 มีค่าเท่ากับ 0.07±0.00 และ 0.14±0.00 g/100g โดยค่าดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปลานิลที่เริ่มต้นเลี้ยงเท่ากับ 3.50 และ 7.0 เท่า ตามลำดับ โดยพบว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงนาน 60 วัน มีค่าดังกล่าวสูงกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (0.09±0.01 g/100g) ในส่วนของกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 6 หรือ Linoleic acid; LA พบว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงนาน 30 วัน (0.26±0.01 g/100g) และ 60 วัน (0.78±0.01 g/100g) มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (0.28±0.02 g/100g) นอกจากนี้ยังพบว่า กรดไขมัน DHA ในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงนาน 30 วัน (0.03±0.00 g/100g) และ 60 วัน (0.02±0.01 g/100g) ค่าใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (0.03±0.01 g/100g) เช่นเดียวกัน ในส่วนของค่าสัดส่วน $\omega 6/\omega 3$ ของปลานิลที่เลี้ยงนาน 30 วัน (2.20±0.01) มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (2.11±0.02) แต่เมื่อเลี้ยงนาน 60 วัน (1.65±0.20) ค่าดังกล่าวจะลดต่ำลงกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน แสดงให้เห็นว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 เป็นเนื้อปลาที่เหมาะสมสำหรับการนำมาบริโภคของมนุษย์ เนื่องจากค่าสัดส่วน $\omega 6/\omega 3$ ในปลาน้ำจืด และปลาทะเลที่เหมาะสมควรมีค่าไม่เกิน 4.0

การศึกษาการตั้งตำรับไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อน โดยคัดเลือกสูตรตำรับที่เหมาะสมจาก 3 สูตร ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย และค่าความหนืดที่เหมาะสม ทำการเตรียมสูตรตำรับไมโครอิมัลชันโดยมีสารลดแรงตึงผิวเป็น Tween 80: Span 80 น้ำมันงาม้อนเป็นวัฏภาคน้ำมัน และใช้น้ำกลั่นเป็นวัฏภาคน้ำ ทำการเลือกสูตรตำรับไมโครอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 22.07±5.55 นาโนเมตร) โดยเตรียมตำรับไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม (MEPSO)

ไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO) และไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) นำไมโครอิมัลชันที่ได้ไปศึกษาต่อในการทดลองถัดไป

การศึกษาผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิลพบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO) นาน 30 และ 60 วัน มีองค์ประกอบกรดไขมันโอเมก้า 3 รวมสูงกว่าทุกชุดการทดลอง และพบกรดไขมัน ALA มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบในชุดการทดลองอื่น ในส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 6 รวม ในเนื้อปลานิลทดลองของการเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 นั้นมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ทั้งในระยะเวลา 30 และ 60 วัน นอกจากนี้สัดส่วนของ ω6/ω3 ในเนื้อปลานั้นมีค่าเท่ากับ 2.47 และ 3.03 ถือว่าเหมาะสมสำหรับการนำมาบริโภคของมนุษย์

ด้านอัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดพบว่า การเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อนร้อยละ 4 ส่งผลให้น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลองเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการแลกเนื้อของปลานิลในชุดการทดลองนี้มีค่าไม่แตกต่างกับชุดควบคุม ซึ่งมีค่านี้ต่ำที่สุด ($p>0.05$) ในส่วนของอัตรารอดพบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อนร้อยละ 4 มีอัตรารอดสูงมากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าอัตรารอดสูงที่สุด การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า อาหารเสริมไมโครอิมัลชันของน้ำมันงาม้อนร้อยละ 4 เป็นสูตรอาหารที่เหมาะสำหรับการนำมาใช้เลี้ยงปลานิลเพื่อนำมาบริโภคโดยมนุษย์ จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับใช้กับน้ำมันชนิดอื่นที่มีปริมาณโอเมก้า 3 สูง และพัฒนาเทคนิคในการเลี้ยงปลาน้ำจืดชนิดอื่นให้มีปริมาณโอเมก้า 3 เพิ่มสูงขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าให้กับปลาน้ำจืดต่อไป

อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

การศึกษาผลการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารเลี้ยงปลานิล จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนที่ใช้เลี้ยงปลานิลพบว่า มีปริมาณไขมัน (10.86±0.99 g/100g) และพลังงาน (374.74±8.93 Kcal/100g) เพิ่มขึ้นมากกว่าอาหารสำเร็จรูปประมาณ 1.5 เท่า ($p<0.05$) สอดคล้องกับการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4, 8 และ 12 ในอาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงปลาซิวใบไผ่สีกุหลาบ ที่ส่งผลให้มีปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 1.6 เท่า (เศกสรรค์ อุปพงศ์ และคณะ, 2566) ซึ่งใกล้เคียงกับคำแนะนำที่ระบุว่าควรมีระดับไขมันประมาณร้อยละ 5–12 สำหรับอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลานิล (พิเชต พลายเพชร, 2559) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาส่วนประกอบหลักของกรดไขมันที่พบในน้ำมันงาม้อนพบว่า ในน้ำมันงาม้อนมีกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 เหมือนกับในเนื้อปลานิลทดลองที่ได้รับอาหารผสมน้ำมันงาม้อน โดยปริมาณกรดไขมันเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ปลานิลได้รับอาหารผสมน้ำมันงาม้อน

การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 นาน 30 และ 60 วัน พบว่ากรดไขมันอิ่มตัวไม่จำเป็นกลุ่ม Lauric acid, Myristic acid, Palmitic acid และ Stearic acid เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมกากเมล็ดเชีย (chai bran) ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน พบว่ากรดไขมันดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (Silva et al., 2014) และสอดคล้องกับการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารที่เสริมกากงาม้อนพบว่า กรดไขมันอิ่มตัว ชนิด Myristic acid และ Stearic acid มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเลี้ยงผ่านไป 30 วัน (Santos et al., 2014) ทั้งนี้ Palmitic acid, Stearic acid, Myristic acid ถือเป็นกรดไขมันอิ่มตัวไม่จำเป็นที่พบได้มากในอาหารเลี้ยงปลา และกรดไขมันเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาหลายชนิด (Sudaryono, 2005) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการเสริม Lauric acid ในอาหารเลี้ยงลูกปลา *Acanthopagrus schlegelii* (black sea bream) ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลา รวมถึงเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme activity) ลดสภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) และทำให้ปลามีภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น (Ullah et al., 2022)

การวิเคราะห์ปริมาณ TMUFA ในเนื้อปลานิล พบว่า Oleic acid มีค่าสูงที่สุด และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่ 30 และ 60 วันหลังได้รับอาหาร รองลงมาคือ Palmitoleic acid และ Erucic acid ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาในลูกปลา *Seriola quinqueradiata* ที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันคาโนล่า (canola oil) และน้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นส่วนผสมพบว่าปริมาณ Oleic acid สูงสุดรองลงมาคือ Palmitoleic acid (Fukada et al., 2020) นอกจากนี้ยังพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมกากเมล็ดเชียระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีปริมาณ Oleic acid สูงสุดรองลงมาคือ Palmitoleic acid และ Erucic acid เช่นกัน (Silva et al., 2014) ในส่วนของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันเมล็ดฝ้าย (linseed oil) นาน 32 วัน ก็ให้ผลในทางเดียวกันคือ Oleic acid มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (Karapanagiotidis et al., 2007) สำหรับการศึกษาในเนื้อปลาทะเล *Dicentrarchus labrax* และ *Sparus aurata* ยังพบว่า Oleic acid ถือเป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน (Amoussou et al., 2022) ทั้งนี้ยังพบว่า Oleic acid ยังมีประโยชน์ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกัน รวมถึงช่วยต้านทานต่อโรค ในปลากะรังลูกผสม (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*) ที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกรด Oleic acid ในอาหารที่ใช้เลี้ยง (Natnan et al., 2023) และยังมีรายงานเพิ่มเติมว่าการรับประทานอาหารที่มี Palmitic acid และ Oleic acid สามารถช่วยต้านการอักเสบ เพิ่มระดับภูมิคุ้มกัน และลดระดับไขมัน (Low Density Lipoprotien; LDL), Cholesterol, Triglyceride และเพิ่มไขมันดี (High density lipoprotien; HDL) ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และหลอดเลือดในมนุษย์ได้ (Carrillo Pérez et al., 2012; Kien et al., 2014; Shramko et al., 2020)

การวิเคราะห์ปริมาณ TPUFA พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 30 และ 60 โดยกรดไขมันจำเป็นอย่าง ALA เพิ่มขึ้น 3.50 และ 7.0 เท่า ซึ่งใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน ส่วน LA เพิ่มขึ้น 2.17 และ 2.25 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดแทนอาหารเสริมกากเมล็ดเชียใช้เลี้ยงปลานิลที่ 30 วัน ส่งผลให้ปริมาณ ALA เพิ่มขึ้น 7.42 เท่า รวมถึงปริมาณ LA ที่เพิ่มขึ้น 2.0 เท่า (Silva et al., 2014) สำหรับการวิเคราะห์สารเมแทบอไลท์ของ ALA ในเนื้อปลาทุกชนิดที่ทำการศึกษาครั้งนี้ไม่พบ EPA แต่พบเพียง DHA ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน ซึ่งให้ผลในทางเดียวกับ LA โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมด้วยน้ำมันงาม้อน กากเมล็ดงาม้อนที่เหลือจากกระบวนการบีบน้ำมัน (perilla seed brand) น้ำมันเมล็ดเชีย (chia seed oil) และน้ำมันปลา (fish oil) (Santos et al., 2014; Silva et al., 2014; Karapanagiotidis et al., 2007;

Amoussou et al. 2022) การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันกลุ่มนี้คาดว่า เมื่อปลานิลที่ได้รับอาหารผสมน้ำมันงาม้อนที่มีโอเมก้า 3 ในปริมาณสูง ปลาจะเปลี่ยนกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวโดยกลไกทางชีวเคมีผ่านการทำงานของเอนไซม์ desaturases หรือ elongases เพื่อเปลี่ยนเป็น EPA และ DHA (Tocher et al., 2001; Ackman et al., 2002) ส่งผลให้เกิดการสะสมกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวในเนื้อปลาได้ ซึ่งกรดไขมันที่จำเป็นนี้ปลานิลไม่สามารถสร้างขึ้นเองในร่างกายได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรงเท่านั้น (Tocher et al., 2001; Teoh and Ng, 2016) ปริมาณของ EPA และ DHA ที่ได้อาจขึ้นอยู่กับ สิ่งแวดล้อม ขนาด อายุ และสัดส่วนขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันงาม้อน (Karapanagiotidis et al., 2007)

การทดลองนี้พบว่าเนื้อปลานิลก่อนเริ่มการทดลอง (0 วัน) 30 และ 60 วันหลังได้รับอาหาร มีค่าสัดส่วนสัดส่วน ω6/ω3 ลดลงตามระยะเวลาในการเลี้ยง เท่ากับ 3.27, 2.19 และ 1.65 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนทดแทนการใช้น้ำมันดอกทานตะวัน ที่แสดงให้เห็นว่ายิ่งเลี้ยงนานสัดส่วนดังกล่าวจะลดลงตามเวลาที่เลี้ยง (Carbonera et al., 2014) นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนนาน 30 วัน มีสัดส่วน ω6/ω3 ใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (เท่ากับ 2.11) และในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนนาน 60 วัน พบว่ามีสัดส่วน ω6/ω3 ต่ำกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน ทั้งนี้สัดส่วน ω6/ω3 ในปลาน้ำจืดและปลาทะเล ควรมีค่าไม่เกิน 4.0 จึงจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (Teoh and Ng, 2016) นอกจากนี้องค์การอาหาร และการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization) แนะนำให้บริโภคกรดไขมันที่มีสัดส่วนกรดไขมันดังกล่าวในสัดส่วน 5:1 แต่ไม่ควรเกิน 10:1 (Mukhametov et al., 2022)

การศึกษานี้ทำให้ทราบว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (w/w) และเลี้ยงนาน 30 วัน ส่งผลให้มีปริมาณโอเมก้า 3, DHA และสัดส่วน ω6/ω3 ใกล้เคียงกับเนื้อปลาแซลมอนที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคของผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้ใช้ปลานิลที่มีอายุประมาณ 6 เดือน หากเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนต่ออีก 30 วัน อาจจะส่งผลต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการเลี้ยงที่เหมาะสมผู้สนใจควรเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารดังกล่าวขณะที่ปลามีอายุประมาณ

5 เดือน และเมื่อปลาอายุครบ 6 เดือน จะได้ปลานิลที่มีคุณภาพที่ดีต่อผู้บริโภคทั่วไป นอกจากนี้การเสริมน้ำมันงาม้อนโดยตรงกับอาหารเม็ดสำเร็จรูปอาจจะส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาได้ อย่างที่ทราบกันว่าน้ำมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีขั่ว และไม่ละลายในน้ำ หากมีปริมาณไขมันเหล่านี้สะสมมากขึ้นในน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิล ก็จะส่งผลกระทบต่อตัวปลาได้ ดังนั้นการกักเก็บน้ำมันดังกล่าวด้วยการทำให้อยู่ในรูปแบบของไมโครอิมัลชันจึงเป็นอีกแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว รวมถึงนำสามารถส่งสาระสำคัญที่อยู่ในน้ำมันงาม้อน เพื่อให้ปลาได้รับอาหารที่มีน้ำมันงาม้อนผสมอยู่อย่างเต็มประสิทธิภาพ

การทดลองที่ 2 การหาตำรับที่เหมาะสมของน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชัน

คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่น้ำมันงาม้อน

คุณลักษณะของตำรับไมโครอิมัลชันที่ผสมกับน้ำมันงาม้อน 3 ตำรับได้แก่ ไมโคอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม (MEPSO) ไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO) และไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) ที่มีอัตราส่วนน้ำมันงาม้อนต่อสารลดแรงตึงผิว (Tween 80: Span 80) สัดส่วน 3:7 (สูตร ME3) โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความคงตัวของขนาดอนุภาคเฉลี่ย และค่าความหนืดที่เหมาะสม จากการเตรียมตำรับไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 ที่ 45 วัน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 27.03±7.93 และ 25.85±19.42 นาโนเมตร (nm) ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาตำรับไมโครอิมัลชันน้ำมันคริลล์ (krill oil) ที่อุดมไปด้วยโอเมก้า 3 ที่สูง เพื่อคงสภาพกรดไขมันไม่อิ่มตัว และลดการออกซิเดชันเพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมัน ตำรับมีส่วนผสมเป็นน้ำมันคริลล์ และ Isopropyl myristate (1:3) สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง Tween 80 และ Span 80 (8:2) และน้ำ ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 27.47 nm (Zhao et al., 2020) ผลของระดับกรดไขมัน (น้ำมันถั่วเหลือง 0, 15, 30, 45 and 60 กรัมต่อกิโลกรัม) ร่วมกับการเสริมอิมัลซิไฟเออร์ (Commercial nutrition emulsifier; NE) ลงในอาหารทดลอง ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมี ภูมิคุ้มกัน และการเผาผลาญไขมัน แสดงให้เห็นว่าในการเสริมอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่มีส่วนผสมของ Tween 80 อาหารปลานิลสามารถเสริมกระบวนการสังเคราะห์ของกรดไขมันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Wangkahart et al., 2022) ในการศึกษาของ Han et al. (2019) กล่าวว่าการเสริมน้ำมันงาม้อน และน้ำมันเมล็ดฝ้ายลงในอาหารโดยตรงนั้นส่งผลให้น้ำมันทั้ง 2 ชนิดเกิดการออกซิไดซ์ส่งผลให้การดูดซึม

มีประสิทธิภาพลดลง เมื่อเทียบกับไมโครอิมัลชันเสริมน้ำมันงาม้อน และน้ำมันเมล็ดฝ้าย เพื่อเพิ่มการกักเก็บ และป้องกันการสลายตัวของสารสำคัญ การใช้เทคนิคไมโครอิมัลชันถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเก็บ และคงสภาพสารที่ต้องการไว้ได้ (อัจฉราภรณ์ สิงห์หาญ และรัตนา ไอทรานุปกรณ์, 2558)

การทดลองที่ 3 ผลของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบแตกต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารและเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน พบว่าเถ้า ความชื้น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต มีค่าใกล้เคียงกันทุกชุดการทดลอง ส่วนไขมันของทุกชุดการทดลองมีปริมาณสูงขึ้นตามความเข้มข้นของการเสริมน้ำมันอยู่ระหว่าง 6.97–13.90 g/100g ซึ่งใกล้เคียงกับคำแนะนำในการเลี้ยงปลานิลที่ควรมีระดับไขมันในอาหารประมาณร้อยละ 5–12 (พิเชต พลายเพชร, 2559) สอดคล้องกับการเสริมน้ำมันงาม้อนในความเข้มข้นที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณของไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นตาม (เศกสรรค์ อุปพงศ์ และคณะ, 2566) และการเพิ่มขึ้นของไขมันนั้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงาน

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าของเถ้า ความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต สอดคล้องกับการศึกษาการทดแทนน้ำมันดอกทานตะวันด้วยน้ำมันงาม้อน (Carbonera et al., 2014) และค่าพลังงานใกล้เคียงกัน ทั้งระยะเวลาการเลี้ยง 30 และ 60 วัน สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 ในอาหารสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิล

องค์ประกอบกรดไขมันในอาหาร และเนื้อปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

องค์ประกอบกรดไขมันในอาหารทดลองเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 รวมของอาหารที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อนมีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลอง เท่ากับ 145.11 mg/100g สอดคล้องกับการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสายยาว ที่ทดแทนน้ำมันจากพืชร่วมกัน ส่งผลให้ปริมาณ

กรดไขมันโอเมก้า 3 สูงกว่าชุดควบคุมที่เป็นน้ำมันปลา (You et al., 2019) และพบค่าน้อยที่สุดในอาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าเท่ากับ 40.40 mg/100g ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 6 รวมของอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) มีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลองเท่ากับ 6,015.90 mg/100g และพบปริมาณน้อยในอาหารที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (622.43 mg/100g) สัดส่วนของ ω6/ω3 มีค่าสูงเนื่องจากปริมาณโอเมก้า 6 ที่พบมีค่าสูงกว่าปริมาณของโอเมก้า 3 ตามความแตกต่างของการเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน สอดคล้องกับการทดแทนน้ำมันดอกทานตะวันโดยน้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ ที่มีค่าร้อยละของกรดไขมันโอเมก้า 6 เท่ากับ 53.8 และร้อยละของกรดไขมันโอเมก้า 3 เท่ากับ 1.78 ส่งผลให้สัดส่วน ω6/ω3 สูงถึง 30.3 ซึ่งสูงกว่าการเสริมน้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ถึง 23 เท่า (Justi et al., 2003) และในการศึกษากรดไขมันโอเมก้า 3 แบบแห้งโดยเสริมด้วยเมล็ดแฟลกซ์บด (flaxseed flour) ในปลานิลพบว่า ในอาหารชุดควบคุมมีสัดส่วน ω6/ω3 เท่ากับ 13.30 mg/100g สูงกว่าการเสริมเมล็ดแฟลกซ์บด (1.67) เนื่องจากในอาหารเสริมเมล็ดแฟลกซ์บดมีกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงถึง 177.40 mg/100g แต่ในอาหารชุดควบคุมมีโอเมก้า 3 เพียง 30.67 mg/100g (Zanqui et al., 2016)

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิลหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (4%PO) อาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (6%PO) อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม (MEPSO) อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO) มีปริมาณของกรดไขมันโอเมก้า 3 ทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้นอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) ทั้งระยะเวลาเลี้ยง 30 และ 60 วัน สอดคล้องกับการศึกษาการทดแทนน้ำมันดอกทานตะวันโดยน้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ (flaxseed oil) ที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่สูงกว่าที่ทำการทดลองในปลานิลระยะเวลาการทดลองแตกต่างกันที่ 10 20 และ 30 วัน พบว่าในเนื้อปลามีการสะสมของกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงขึ้นจากชุดควบคุม (Justi et al., 2003) เช่นเดียวกับการศึกษาการทดแทนน้ำมันดอกทานตะวันด้วยน้ำมันงาม้อน ในอาหารปลานิลที่ระยะเวลาเลี้ยงที่ต่างกัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิลเช่นกัน (Carbonera et al., 2014) และสอดคล้องกับการเสริมกากงาม้อนส่งผลให้องค์ประกอบของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลานิลมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 มากกว่าอาหารชุดควบคุม (Santos et al., 2014) ปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 6 ทั้งหมดของอาหารทุกชุดการทดลองมีค่าสูงขึ้นมากกว่าชุดควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาการเสริมน้ำมันปลา และน้ำมันพืชในอาหารเลี้ยงปลานิลแดง (Ng et al., 2013)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบ Alpha-Linolenic acid เพียงชุดการทดลองเดียว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.01 g/100g ในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 ระยะเวลาการเลี้ยง 30 และ 60 วัน สอดคล้องกับการศึกษาการเสริมกากเมล็ดเชียในปลานิลที่ระยะเวลาทดลอง 30 วัน (Silva et al., 2014) การเพิ่มขึ้นของ Alpha-Linolenic acid นั้นจะเห็นได้ชัดในระยะเวลาการเลี้ยงที่ 30 วัน (Montanher et al., 2016) นอกจากนี้ Teoh and Ng (2016) ทำการศึกษาการทดแทนน้ำมันคาโนลา และน้ำมันงาม้อนในอาหารเลี้ยงปลานิลแดง พบว่าน้ำมันงาม้อนสามารถทำให้เกิดกระบวนการ delta-6 desaturation ซึ่งเป็นกระบวนการที่สังเคราะห์ Alpha-Linolenic acid ได้ทำให้มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนสามารถส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันในเนื้อปลานิลได้ ในการศึกษาของ (McClements, 2012) กล่าวว่าระบบนำส่งที่ใช้ไมโครอิมัลชันกำลังถูกนำมาใช้มากยิ่งขึ้น ในอุตสาหกรรมอาหาร และยาเพื่อห่อหุ้มและส่งมอบส่วนประกอบมีออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ในการเสริมน้ำมันที่มีโอเมก้า 3 เป็นส่วนประกอบลงในอาหารนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับการได้รับอาหารเพียงอย่างเดียว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วยเช่น ปลาแต่ละชนิดนั้นจะมีปริมาณกรดไขมันต่างกัน การสะสมกรดไขมันในร่างกายและกระบวนการนำไปใช้ที่ต่างกัน มีรายงานว่าปลานิลสามารถเป็นผู้ผลิต PUFA แม้ว่าจะได้รับอาหารที่มีระดับ PUFA ไม่สูงก็ตาม (Chen et al., 2013) ปลาที่อาศัยน้ำจืดนั้นมีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเมก้า 6 ที่สูงกว่าปลาทะเล ปลาทะเลจะมีสัดส่วนของโอเมก้า 3 สูงกว่าโอเมก้า 6 (Sabba et al., 2023) มีการศึกษาว่าปลานิลแดงสามารถสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid) ที่ประกอบไปด้วย Linoleic acid และ Alpha-Linolenic acid (Ng et al., 2013) ปริมาณกรดไขมัน EPA และ DHA ไม่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 30 และ 60 วัน เนื่องจากกรดไขมัน Alpha-Linolenic acid พบน้อยในเนื้อปลานิลทุกชุดการทดลอง ซึ่งเป็นกรดไขมันที่ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้น ในการเปลี่ยนเป็น EPA และ DHA (Yuan et al., 2022) ทั้งนี้ในกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) จะมีเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาคือ desaturases (delta-6 desaturase และ delta-5 desaturase) โดยจะใช้สารตั้งต้นอย่าง Alpha-Linolenic acid เพื่อสังเคราะห์กรดไขมัน EPA และ DHA และ Linoleic acid จะสังเคราะห์กรดไขมันได้เป็น Arachidonic acid ออกมาในกระบวนการเดียวกัน (Tocher et al., 2001; Fabian et al., 2015) จากองค์ประกอบกรดไขมันพบว่ามีกรดไขมัน Linoleic acid ที่ระยะเวลา 30 และ 60 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเสริมน้ำมันที่รูปแบบต่างกัน สอดคล้องกับการเสริมน้ำมันปาล์มในรูปแบบต่างกัน น้ำมันปาล์มดิบ (CPO) กรดไขมันปาล์มกลั่น (PFAD) น้ำมันปาล์มกึ่งบริสุทธิ์ (RBDPO) ที่ใช้เลี้ยงปลานิล

(Bahurmiz and Ng, 2007) โดยทั่วไปแล้วอาหารสัตว์น้ำจะมีปริมาณของกรดไขมันโอเมก้า 6 สูงกว่าโอเมก้า 3 (Liu et al., 2019)

สัดส่วนของ ω6/ω3 ของเนื้อปลานิลหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 ระยะเวลา 30 วัน มีสัดส่วน ω6/ω3 ดีที่สุด (2.47) ส่วนในระยะเวลา 60 วัน เท่ากับ 3.03 แต่มากกว่าอาหารทดลองที่เสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (1.70) และในเนื้อปลานิลที่เสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 มีค่าสัดส่วนสูงกว่าทุกชุดการทดลองที่ระยะเวลา 30 วัน และ 60 วัน เท่ากับ 8.45 และ 7.10 การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันงาม้อนนั้นอุดมไปด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่จะไปลดสัดส่วน ω6/ω3 เมื่อปลาได้รับกรดไขมันเหล่านี้เข้าไปสะสมในเนื้อปลา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปลาแอตแลนติกแซลมอน ด้วยน้ำมันคาเมลินา (Camelina oil) ที่ระดับไขมันในอาหาร 40% ทำให้อัตราส่วน ω6/ω3 ในเนื้อปลาดีขึ้น (Mock et al., 2019) มีการศึกษาผลของโอเมก้า 3 ในการป้องกันโรคหัวใจทางคลินิก พบว่าการบริโภคกรดไขมันโอเมก้า 6 ที่สูงนั้นจะไปลดประสิทธิภาพการทำงานของกรดไขมันโอเมก้า 3 และการบริโภคปลา หรือผลิตภัณฑ์จากปลา จะมีองค์ประกอบกรดไขมันย่อยอื่น ๆ ของโอเมก้า 3 ที่จะช่วยส่งเสริมการป้องกันโรคหัวใจ หรือลิ่มเลือดอุดตัน (Desnoyers et al., 2018) อย่างไรก็ตามการศึกษาอัตราส่วน ω6/ω3 ในปลานิลนั้นยังพบน้อยควรมีการศึกษาสัดส่วนของกรดไขมันดังกล่าวเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นแนวทางที่ช่วยส่งเสริมให้มนุษย์ตระหนักถึงประโยชน์ และโทษที่จะได้รับจากการบริโภค

อัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอดของปลานิลที่เสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ที่ระยะเวลาทดลอง 60 วัน มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง โดยปลานิลมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สอดคล้องกับการทดแทนน้ำมันปลาเพียงบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยน้ำมันจากพืชนั้นไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตลดลง (Teoh and Ng, 2016) อย่างเช่นการศึกษาการทดแทนน้ำมันปลาด้วยน้ำมันปาล์มนั้นไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแดงลูกผสม (Han et al., 2013) การศึกษาผลของการให้อาหารเสริมที่มีระดับไขมันต่างกันต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงของอาหารและองค์ประกอบของเนื้อปลานิล พบว่าปลานิลสามารถกักเก็บไขมันในซาก และอวัยวะภายใน

ได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่แหล่งพลังงานนี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตโดยตรง หรือประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ และโปรตีนอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพลังงาน (Hanley, 1991) นอกจากนี้ยังมีการใช้กากของเมล็ดเชียทดแทนสูตรอาหารทั่วไปใช้เลี้ยงปลานิล พบว่าไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิล (Silva et al., 2014) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำหนักที่เพิ่ม โดยอยู่ระหว่าง 65.81–130.98 กรัม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการแลกเนื้อ ของทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สอดคล้องกับการเสริมน้ำมันปาล์มต่ออัตราการเติบโต องค์ประกอบกรดไขมัน และการย่อยของปลานิลที่เลี้ยงจนถึงขนาดตลาด ทำการทดลองเป็นเวลา 20 สัปดาห์ ของปลานิลลูกผสมสีแดง น้ำหนักเริ่มต้น 31.24±0.05 กรัม อาหารที่ใช้เป็นสูตรอาหารที่มีการเติมน้ำมันปลา (FO) น้ำมันปาล์มดิบ (CPO) กรดไขมันปาล์มกลั่น (PFAD) น้ำมันปาล์มกึ่งบริสุทธิ์ (RBDPO) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ส่งผลให้อัตราการแลกเนื้อมีค่าเท่ากับ 1.31, 1.45, 1.38 และ 1.44 (Bahurmiz and Ng, 2007) อัตราการแลกเนื้อนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงโดยการปรับองค์ประกอบของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยง (Jobling, 2012) โดยอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลอง 130.98±74.75 กรัม จะเห็นได้ว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 มีอัตรารอดสูงกว่าปลานิลที่เสริมด้วยน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการ คุณสมบัติการทำงาน และการประยุกต์ใช้ทางเภสัชวิทยาของงาม้อน ว่าน้ำมันงาม้อนมีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคได้ (Dhyani et al., 2019) ดังนั้นการเสริมน้ำมันงาม้อนในรูปไมโครอิมัลชันนั้นจะช่วยกักเก็บสารสำคัญที่อยู่ในน้ำมันงาม้อน และส่งสารสำคัญเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร เพื่อเพิ่มการละลายได้ดีในหยดน้ำมันขนาดเล็ก (วริษฎา ศิลาอ่อน, 2558) ให้แพร่กระจายอย่างรวดเร็วในระบบทางเดินอาหารของปลาส่งผลให้การดูดซึมดีขึ้น แสดงให้เห็นว่าพืชน้ำมันที่อุดมไปด้วยโอเมก้า 3 และ 6 มีคุณสมบัติช่วยในเรื่องระบบภูมิคุ้มกันของปลา (Gwari et al., 2014) โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (Ayisi et al., 2019) อัตราการรอดของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์ม มีค่าดีกว่าทุกชุดการทดลองเท่ากับร้อยละ 73.21 โดยมีค่าแตกต่างกับชุดควบคุม อาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 ($p<0.05$) แต่ไม่ต่างกันระหว่างอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6

อัตราผลตอบแทนอาหารต่อต้นทุนในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนรูปแบบต่างกัน ได้แก่ อาหารไม่ผสมน้ำมันงาม้อน (CF), อาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความ

เข้มข้นร้อยละ 4 (4%PO), อาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (6%PO), อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันเมล็ดปาล์มความเข้มข้นร้อยละ 4 (MEPSO), อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (ME4%PO) และอาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 6 (ME6%PO) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 เป็นชุดการทดลองที่มีค่า BC สูงที่สุด (2.44±0.16) รองลงมาคือ อาหารเสริมไมโครอิมัลชันน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (2.09±0.08) ชุดการทดลองที่มีค่า BC ต่ำที่สุดคืออาหารเสริมกับน้ำมันงาม้อนความเข้มข้นร้อยละ 4 (1.53±0.05) อย่างไรก็ตามอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนทั้ง 6 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และเมื่อพิจารณาค่า BC ในแต่ละชุดการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า BC มากกว่า 1 แสดงว่าเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงทุกชุดการทดลองจะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่า ได้รับผลตอบแทนสูงกว่าเงินที่ลงทุนไป (ประคุณ ศาลิกร และ โสมสกาว เพชรานนท์, 2559; พรรณราย พูนผล และวิสาขา ภู่จินดา, 2564)

บรรณานุกรม

กรมประมง. (2560). **ยุทธศาสตร์กรมประมง, พ.ศ. 2560-2564**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมประมง. (2565). **สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2563**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

เกวลิน หนูฤทธิ์. (2563). **สถานการณ์สินค้าปลานิลและผลิตภัณฑ์ปี 2563**. กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง กรมประมง. กรุงเทพฯ.

เกวลิน หนูฤทธิ์. (2564). **สถานการณ์การผลิตและการค้าปลานิลและผลิตภัณฑ์ในปี 2563 และแนวโน้มปี 2564**. กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง กรมประมง. กรุงเทพฯ.

กัษมาพร ปัญต๊ะบุตร. (2562). งาขี้ม้อนและประโยชน์ต่อสุขภาพ. **วารสารอาหาร**, 49(3), 11-16.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2553). มหัศจรรย์น้ำมันงาขี้ม้อน. **วารสารอาหาร**, 40(1), 52-53.

ธนะเศรษฐ์ ง้าวหิรัญพัฒน์. (2561). **การพัฒนาไมโครอิมัลชันชนิดปราศจากแอลกอฮอล์สำหรับการนำส่งยาทางรูขุมขนของฟีแนสเตอไรด์: การหาสูตรตำรับที่เหมาะสมที่สุดและการประเมินคุณลักษณะ**. มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ.

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. (2561). **อาหารนุ่ม...เมนูอร่อยเพื่อสุขภาพผู้สูงวัย** (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี: สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง.

ประคุณ ศาลิกร และโสมสกาว เพชรานนท์. (2559). การลงทุนเลี้ยงปลานิลเพื่อการพาณิชย์ในจังหวัดนครปฐม. **วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ**, 3(1), 40-54.

พรรณราย พูนผล และวิสาขา ภู่จินดา. (2564). ผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนเพาะเลี้ยงปลาสลิด อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อมุ่งสู่การเป็น Smart Farmer. **วารสารวิจัยรำไพพรรณี**, 15(1), 108-118.

พิเชต พลายเพชร. (2559). การจัดการทางโภชนาการสำหรับการเลี้ยงปลานิล. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 24(1), 12-39.

ภัทรวรรณ หมกทอง, พาสวดี ประทีปะเสน, สุเมธ ตันตระเธียร และสุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์. (3-5 ก.พ. 2553). ผลของตัวทำอิมัลชันต่อความเสถียรและประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียของอิมัลชันน้ำมันกานพลูในน้ำ. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48** (หน้า 178-186). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ไมตรี สุทธจิตต์, จักรกฤษณ์ คณารีย์, พยุงศักดิ์ ตันติไพบูลย์วงศ์ และคมศักดิ์ พินธะ. (2558). กรดไขมันโอเมก้า-3, โอเมก้า-6 และสารอาหารของเมล็ดงาม้อนในภาคเหนือของประเทศไทย. **วารสารนเรศวรพะเยา**, 8(2), 80-86.

วนัสรา เชาวน์นิยม, ศิริพร จันทร์ฉาย, สุนิศา แสงจันทร์, และพัชนา ใจดี. (2559). **รายงานวิจัยแบบแผนการบริโภคอาหารภาวะโภชนาการและปัจจัยขับเคลื่อนชุมชนผู้สูงอายุสุขภาพดี**. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.

วริษฎา ศิลาอ่อน. (2558). ระบบนำส่งยาที่เกิดอิมัลชัน/ไมโครอิมัลชันเองของยาค่าการละลายน้ำต่ำสำหรับการให้ทางปาก. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 17(1), 60-83.

วราภรณ์ ประเสริฐ. (2560). นาโนอิมัลชันและการผลิตนาโนอิมัลชันโดยกระบวนการพลังงานต่ำ. **วารสารอาหาร**, 47(2), 37-45.

วรนันท์ รังสิมาวงศ์ และธนะเศรษฐ์ ง้าวหิรัญพัฒน์. (2557). นาโนอิมัลชันในระบบนำส่งยาผ่านทางผิวหนัง. **Thai Bulletin of Pharmaceutical Sciences**, 9(2), 46-61. DOI:10.14456 /tbps.2014.11

วงศ์สถิตย์ ฉั่วกุล. (2539). **สมุนไพรพื้นบ้านล้านนา**. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

ศิริกาญจน์ เพ็งอ้น, ชุติมา ลิ้มมัทวาภิรัติ์ และสนทยา ลิ้มมัทวาภิรัติ์. (19-21 ม.ค. 2554). ความคงตัวทางกายภาพและความสามารถในการต้าน *Streptococcus mutans* ของนาโนอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย. ใน **การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย/สร้างสรรค์ ศิลปากรวิจัย ครั้งที่ 4 "บูรณาการศาสตร์และศิลป์ คือ ศิลปากร"** (หน้า 380-384). นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์.

เศกสรรค์ อุปพงศ์, คมศักดิ์ พินธะ, ฉัตรมงคล สุวรรณภูมิ, อาทิตยา วงศ์วุฒิ, ปฐมพงษ์ กาศสกุล , ศุภางค์ คนดี และเกรียงไกร สีตะพันธุ์. (2566). ผลของอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนต่อการเจริญเติบโต และการสะสมกรดไขมันโอเมก้า-3 ในปลาชิวใบไผ่สีกุหลาบ. **Health Science, Science and Technology Reviews**, 16(2), 53-66.

สุกรรณิการ์ ทับทิมศรี. (2560). **ยาต้านจุลชีพสำหรับใช้ภายนอกในรูปแบบไมโครอิมัลชัน**. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.

สุวิมล อริยประกาย. (2562). การเพิ่มความคงตัวของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยต่อการเกิดออสวอล์ดไรเพนนิ่ง. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ**. ปีที่ 42(4), 317–326.

สุรชัย พิกุลแก้ว. (2557). **รายงานการวิจัยการเพิ่มมูลค่าสมุนไพรโดยนาโนเทคโนโลยีเพื่อใช้เป็นสารกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในปลานิล**. คณะสัตวแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570)**. สำนักนายกรัฐมนตรี.

อัจฉราภรณ์ สิงห์หาญ และรัตนา อินทรานุปกรณ์. (2558). การพัฒนาตำรับไมโครอิมัลชันเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของสารสกัดชาเขียว (*Camellia sinesis*). **วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน**, 11(4), 40–56.

อนงนาฏ ไพนุพงศ์. (2562). กรดไขมันกับผลต่อสุขภาพ. **วารสารวิชาการซายน์เทค มรภ.ภูเก็ต** , 3(1), 23–28.

Ackman, R.G. and Mcleod, C. (2002). Lipids and fatty acid of five freshwater food fishes of India. **Journal of Food Lipids**, 9(2), 127–145. DOI: 10.1111/j.1745–4522. 2002.tb00 214.x

Amoussou, N., Marengo, M., Iko Afe, O.H., Lejeune, P., Durieux, E.D.H., Douny, C., Scippo, M.L., and Gobert, S. (2022). Comparison of fatty acid profiles of two cultivated and wild marine fish from Mediterranean Sea. **Aquaculture International**, 30(3), 1435–1452. DOI: 10.1007 /s10499–022–00861–3

AOAC. (2012). Official Methods of Analysis (19th ed.). Washington, D.C., USA: Association of Official Agricultural Chemists.

Ayisi, C., Zhao, J.l. and Apraku, A. (2019). Consequences of replacing fish oil with vegetable oils in fish. **Journal of Animal Research and Nutrition**, 4(1–3), 1–11. DOI:10.21767 /2572–5459.100053

Bahurmiz, O.M. and W.K. Ng (2007). Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., raised from stocking to marketable size. **Aquaculture**, 262(2–4), 382–392.

Bligh, E.G. and Dyer W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, 37(8), 911–917.

Carbonera, F., Bonafe, E.G., Martin, C.A., Montanher, P.F., Ribeiro, R.P., Figueiredo, L.C., Almeida, V.C. and Visentainer, J.V. (2014). Effect of dietary replacement of sunflower oil with perilla oil on the absolute fatty acid composition in Nile tilapia (GIFT). **Food Chemistry**, 148, 230–234. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.10.038

Carrillo Pérez, C., Cavia Camarero, M.D.M., and Alonso de la Torre, S. (2012). Role of oleic acid in immune system; mechanism of action; a review. **Nutrición Hospitalaria**, 27(4), 978–990.

Chang, C. and Nickerson, M.T. (2018). Encapsulation of omega 3–6–9 fatty acids–rich oils using protein–based emulsions with spray drying. **Journal of Food Science and Technology**, 55(8), 2850–2861. DOI: 10.1007/s13 197–018–3257–0

Chen, C., Sun, B., Li, X., Li, P., Guan, W., Bi, Y. and Pan, Q. (2013). N–3 essential fatty acids in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Quantification of optimum requirement of dietary linolenic acid in juvenile fish. **Aquaculture**, 416, 99–104.

Dhyani, A., Chopra, R. and Garg. M. (2019). A review on nutritional value, functional properties and pharmacological application of perilla (*Perilla frutescens* L.). **Biomedical and Pharmacology Journal**, 12(2), 649–660. DOI: 10.13005/bpj/1 685

Fabian, C. J., Kimler, B.F. and Hursting, S.D. (2015). Omega–3 fatty acids for breast cancer prevention and survivorship. **Breast cancer research**, 17, 1–11.

Fukada, H., Kitagima, R., Shinagawa, J., Morino, H. and Masumoto, T. (2020). Effects of complete replacement of fish oil with plant oil mixtures and algal meal on growth performance and fatty acid composition in juvenile yellowtail *Seriola quinqueradiata*. **Fisheries science**, 86**(1)**, 107–118. DOI: 10.1007/s12562–019–01361–9

Ganguly, S. (2014). Microemulsification of Fish Oil Offering a New Dimension in Fish Processing Technology: A Review on Its Chemical Properties and Ionic Interactions. **Research Journal of Chemical and Environmental Sciences**, 2(5), 1–3.

Gwari, G., Lohani, H., Haider, S.Z., Bhandari, U., Chauhan, N. and Rawat, D.S. (2014). Fatty acid and nutrient composition of Perilla (*Perilla frutescens* L.) accessions collected from Uttarakhand. **International Journal of Phytopharmacology**, 5(5), 379–382.

Han, B., Yu, B., Liu, L., Xiu, Y. and Wang, H. (2019). Experimental investigation of the strong stability, antibacterial and anti–inflammatory effect and high bioabsorbability of a

perilla oil or linseed oil nanoemulsion system. **RSC advances**, 9(44), 25739–25749. DOI: 10.1039/C9RA03595H

Han, C.Y., Zheng, Q.M. and Feng, L.N. (2013). Effects of total replacement of dietary fish oil on growth performance and fatty acid compositions of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). **Aquaculture International**, 21(6), 1209–1217. DOI: 10.1007/s10499–013–9624–y

Hanley, F. (1991). Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, 93(4), 323–334.

Jobling, M. (2012). National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. **Aquaculture International**, 20(3), 601–602. DOI: 10.1007/s10499–011–9480–6

Justi, K., Hayashib, C., Visentainera, J.V., Souzaa, N.E. and Matsushita, M. (2003). The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n–3 fatty acids. **Food Chemistry**, 80(4), 489–493. DOI: 10.1016/S0308–8146(02)00317–5

Karapanagiotidis, I.T., Bell, M.V., Little, D.C. and Yakupitiyage, A. (2007). Replacement of dietary fish oils by alpha–linolenic acid–rich oils lowers omega 3 content in tilapia flesh. **Lipids**, 42(6), 547–559. DOI: 10.1007/s11745–007–3057–1

Kien, C.L., Bunn, J.Y., Stevens, R., Bain, J., Ikayeva, O., Crain, K., Koves, T.R. and Muoio, D.M. (2014). Dietary intake of palmitate and oleate has broad impact on systemic and tissue lipid profiles in humans. **The American journal of clinical nutrition**, 99(3), 436–445. DOI: 10.3945/ajcn.113.070557

Kurowska, E., Dresserb, G.K., Deutscha, L., Vachonc, D. and Khalil, W. (2003). Bioavailability of omega–3 essential fatty acids from perilla seed oil. **Prostaglandins, leukotrienes and essential fatty acids**, 68(3), 207–212. DOI: 10.1016/S0952–3278(02)00271–5

Liu, Y., Wen, J.J., Ning, L.J., Jiao, J.G., Qiao, F., Chen, L.Q. and Du, Z.Y. (2019). Comparison of effects of dietary–specific fatty acids on growth and lipid metabolism in Nile tilapia. **Aquaculture nutrition**, 25(4), 862–872.

McClements, D.J. (2012). Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. **Soft matter**, 8(6), 1719–1729. DOI: 10.1039/c2sm06903b

Mock, T.S., Francis, D.S., Jago, M.K., Glencross, B.D., Smullen, R.P., Keast, R.S. and Turchini, G.M. (2019). Altered levels of shorter vs long–chain omega–3 fatty acids in commercial diets for market–sized Atlantic salmon reared in seawater–effects on fatty acid composition, metabolism and product quality. **Aquaculture**, 499, 167–177. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.09.020

Montanher, P.F., Costa e Silva, B., Bonafé, E.G., Carbonera, F., dos Santos, H.M.C., de Lima Figueiredo, I., Maruyama, S.A., Matsushita, M. and Visentainer, J.V. (2016). Effects of diet supplementation with chia (*Salvia hispanica* L.) oil and natural antioxidant extract on the omega–3 content and antioxidant capacity of Nile tilapia fillets. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 118(5), 698–707. DOI: 10.1002/ejlt.201400334

Mukhametov, A., Yerbulekova, M., Aitkhozhayeva, G., Tuyakova, G. and Dautkanova, D. (2022). Effects of **ω**–3 fatty acids and ratio of **ω**–3/**ω**–6 for health promotion and disease prevention. **Food Science and Technology**, 42, e58321. DOI: 10.1590/fst.58321

Natnan, M.E., Low, C.F., Chong, C.M., Rungrassamee, W. and Baharum, S.N. (2023). The Effect of Oleic Acid–Enriched Diet in Hybrid Groupers (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*) upon Infection with *Vibrio vulnificus* Using an LC–qTOF–MS Approach. **Journal of Marine Science and Engineering**, 11(8), 1563. DOI: 10.3390/jm se1108156

Ng, W.K., Chong, C.Y., Wang, Y. and Romano, N. (2013). Effects of dietary fish and vegetable oils on the growth, tissue fatty acid composition, oxidative stability and vitamin E content of red hybrid tilapia and efficacy of using fish oil finishing diets. **Aquaculture**, 372, 97–110. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.10.030 DOI:10.1016/j.aquaculture.2012.10.030

Oliveira, M., Ribeiro, R.P., Silva, M.C., Montanher, P.F., Carbonera, F., Visentainer, J.V. and Maldanera, L. (2018). Effects of a diet supplemented with Japanese grape (Hovenia dulcis) seed oil on the omega–3 and nutritional lipid quality in Nile tilapia (*Oreochromis*

niloticus). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 29(3), 463–471. DOI:10.21577/0 103–5053.20170158

Sabba, E., Boudida, Y. and Boudjellal, A. (2023). Evaluation of Fatty Acid and the Composition of Six Different Species of Freshwater Fish in the North of Algeria. **Journal of food quality and hazards control**, 10(3), 115–122. DOI: 10.18502 /jfqhc.10.3.13642

Santos, H.M.C., Nishiyama, M.F., Bonafe, E.G., Oliveira, C.A.L., Matsushita, M., Visentainer, J.V. and Ribeiro, R.P. (2014). Influence of a diet enriched with perilla seed bran on the composition of omega–3 fatty acid in Nile tilapia. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 91(11), 1939–1948. DOI:10.1007/s11746–014–2545–8

Shramko, V.S., Polonskaya, Y.V., Kashtanova, E.V., Stakhneva, E.M. and Ragino, Y.I. (2020). The short overview on the relevance of fatty acids for human cardiovascular disorders. **Biomolecules**, 10(8), 1127. DOI: 10.3390/biom 10081127

Silva, B.C. Santos, H.M.C. Montanher, P.F., Boeing, J.S., Almeida, V.C. and Visentainer, J.V. (2014). Incorporation of omega–3 fatty acids in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed chia (*Salvia hispanica* L.) bran. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 91(3), 429–437. DOI:10.1007/s11746–013–2391–0

Siriamornpun, S., Li, D., Yang, L., Suttajit, S. and Suttajit, M. (2006). Variation of lipid and fatty acid compositions in Thai Perilla seeds grown at different locations. **Songklanakarin J. Sci. Technol**, 28(1), 17–21.

Sirikarn, P., Netnapha, T., Charin, F., Praphasiri, M. and Sontaya, L. (2016). Formulation of skin infections microemulsions prepared from modified coconut oil. **Siam Pharmacy Journal**, 1(2), 65–71.

Souto, E.B., Cano, A., Martins–Gomes, C., Coutinho, T.E., Zielinska, A. and Silva, A.M. (2022). Microemulsions and nanoemulsions in skin drug delivery. **Bioengineering**, 9(4), 158. DOI: 10.3390/bioengineering9040158

Sudaryono, A. (2005). Fatty Acid Profiles in Fish Silage Made from Various Marine Feedstuffs as Potential Nutrition Sources for Aquaculture Feeds. **Journal of Coastal Development**, 8(3), 187–204.

Teoh, C.Y. and Ng, W.K. (2016). The implications of substituting dietary fish oil with vegetable oils on the growth performance, fillet fatty acid profile and modulation of the fatty acid

elongase, desaturase and oxidation activities of red hybrid tilapia, Oreochromis sp. **Aquaculture**, 465, 311–322. DOI: 10.1016/j.aquacultur e.2016.09.023

Tocher, D.R., Agaba, M., Hastings, N. and Teale, A.J. (2001). Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish Physiology and Biochemistry**, 24(4), 309–320.

Ullah, S., Zhang, J., Xu, B., Tegomo, A.F., Sagada, G., Zheng, L., Wang, L. and Shao, Q., (2022). Effect of dietary supplementation of lauric acid on growth performance, antioxidative capacity, intestinal development and gut microbiota on black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*). **Plos one**, 17(1), e0262427. DOI:10.1371/journal.pone.0262427

Wangkahart, E., Bruneel, B., Wisetsri, T., Nontasan, S., Martin, S.A. and Chantiratikul, A. (2022). Interactive effects of dietary lipid and nutritional emulsifier supplementation on growth, chemical composition, immune response and lipid metabolism of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 546, 737341. DOI:10.1016/j.aquaculture.2021.73734

You, C., Lu, F., Wang, S., Chen, C. and Li, Y. (2019). Comparison of the growth performance and long-chain PUFA biosynthetic ability of the genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in different salinities. **British journal of nutrition**, 121(4), 374–383. DOI: 10.1017/s0007114518003471

Yuan, Q., Xie, F., Huang, W., Hu, M., Yan, Q., Chen, Z., Zheng, Y. and Liu, L. (2022). The review of alpha-linolenic acid: Sources, metabolism, and pharmacology. **Phytotherapy Research**, 36(1), 164–188. DOI: 10.1002/ptr.7295

Zamani Ghaleshahi, A., Ezzatpanah, H., Rajabzadeh, G. and Ghavami, M. (2020). Comparison and analysis characteristics of flax, perilla and basil seed oils cultivated in Iran. **Journal of Food Science and Technology**, 57(4), 1258–1268. DOI: 10.1007/s13197-019-04158-x

Zanqui, A.B., Souza, A.H.P.D., Gohara, A.K., Nishiyama, M.F., Ribeiro, R.P., Souza, N.E.D., Visentainer, J.V., Gomes, S.T.M. and Matsushita, M. (2016). Multivariate study of Nile

tilapia byproducts enriched with omega-3 and dried with different methods. **Food Science and Technology**, 36(1), 18-23. DOI: 10.1590/1678-457X.6796

Zhao, J., Jiang, K., Chen, Y., Chen, J., Zheng, Y., Yu, H. and Zhu, J. (2020). Preparation and characterization of microemulsions based on Antarctic krill oil. **Marine drugs**, 18(10), 492.

ภาคผนวก

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ–สกุล	อาทิตยา วงศ์วุฒิ
วัน เดือน ปี เกิด	13 ตุลาคม 2539
สถานที่เกิด	เชียงราย
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2564–ปัจจุบัน วท.ม.(เทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา พ.ศ. 2558–2562 วท.บ.(การประมง), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	109 หมู่ 10 ต.เวียง อ.เทิง จ.เชียงราย
ผลงานตีพิมพ์	อาทิตยา วงศ์วุฒิ, คมศักดิ์ พินธะ, ศุภางค์ คนดี, เศกสรรค์ อุปพงศ์ และเกรียงไกร สีตะพันธุ์. 2567. การเปรียบเทียบปริมาณโอเมก้า 3 ในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อน กับปลาแอตแลนติกแซลมอน และปลาแพนกาเซียดอร์รี่ที่ขายตามท้องตลาด. Health Science, Science and Technology Reviews, 17(1), 3–14. เศกสรรค์ อุปพงศ์, คมศักดิ์ พินธะ, ฉัตรมงคล สุวรรณภูมิ, อาทิตยา วงศ์วุฒิ, ปฐมพงษ์ กาศสกุล, ศุภางค์ คนดี และเกรียงไกร สีตะพันธุ์. (2566). ผลของอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนต่อการเจริญเติบโต และการสะสมกรดไขมันโอเมก้า–3 ในปลาชิวใบไผ่สีกุหลาบ. Health Science, Science and Technology Reviews, 16(2), 53–66.