บทความวิจัย (Research Article)

การเปรียบเทียบปริมาณโอเมก้า 3 ในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อน กับปลาแอตแลนติกแซลมอน และปลาแพนกาเซียดอร์รี่ที่ขายตามท้องตลาด

อาทิตยา วงศ์วุฒิ[1], คมศักดิ์ พินธะ[2], ศุภางค์ คนดี[3], เศกสรรค์ อุปพงศ์[1] และ เกรียงไกร สีตะพันธุ์[1*]

Comparison of the omega-3 contents in tilapia fed perilla oil supplemented diet with commercially available Atlantic salmon and Pangasius dory

Athitaya Wongwut[1], Komsak Pintha[2], Supang Khondee[3], Seksan Uppaphong[1] and Kriengkrai Seetapan[1*]

[1] Fisheries Technology and Innovation, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000

[2] Division of Biochemistry, School of Medical Sciences, University of Phayao, Phayao 56000

[3] Division of Pharmacy and Technology, Department of Pharmaceutical Care, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao, Phayao 56000

* Correspondence author: kook82@hotmail.com, kriengkrai.se@up.ac.th

Health Science, Science and Technology Reviews. 2024;17(1):3-14.

Received: 5 December 2023; Revised: 26 February 2024; Accepted: 5 March 2024

บทคัดย่อ

การเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) ในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลเป็นเวลา 60 วัน (853 ± 50.90 กรัม) โดยเก็บเนื้อปลานิลที่ระยะเวลา 0 (ชุดควบคุม) 30 และ 60 วัน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิลกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และแพนกาเซียสดอร์รี่ที่จำหน่ายตามท้องตลาด ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid; SFA) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid; MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid; PUFA) เพิ่มขึ้นในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อน 30 และ 60 วันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วัน มีกรดไขมันโอเมก้า 3 หรือ ω3 (Alpha-linolenic acid; ALA) เพิ่มขึ้น 3.5 และ 7 เท่า ($p<0.05$) การเสริมน้ำมันงาม้อนที่ระยะเวลา 30 และ 60 วัน ทำให้ปริมาณกรดโอเมก้า 6 หรือ ω6 (Linoleic acid; LA) มีค่าเพิ่มขึ้น 2.16 และ 2.25 เท่า ($p<0.05$) สำหรับการเปรียบเทียบปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 60 วัน กับเนื้อปลาที่ขายตามท้องตลาด พบว่าเนื้อปลานิลมีปริมาณ ALA สูงกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ถึง 1.6 และ 14 เท่า นอกจากนี้ปริมาณ Docosahexaenoic acid (DHA) ของเนื้อปลานิลทดลองมีค่า เพิ่มขึ้นเทียบเท่ากับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และเพิ่มขึ้นมากกว่าเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ ($p<0.05$) สำหรับสัดส่วนของ ω6/ω3 ในเนื้อปลานิลที่ระยะเวลา 0, 30 และ 60 วัน มีค่าลดลง 3.26, 2.20 และ 1.65 เท่า ($p<0.05$) ตามลำดับ โดยสัดส่วนดังกล่าวของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารนาน 30 วัน ยังมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อปลา

---

[1] สาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] สาขาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[3] กลุ่มวิชาเภสัชศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาบริบาลเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

* Correspondence author: kook82@hotmail.com, kriengkrai.se@up.ac.th

แอตแลนติกแซลมอน (2.11) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเสริมน้ำมันงาม้อนในอาหารเลี้ยงปลานิลมีส่วนช่วยให้เกิดการสะสมกรดไขมัน (SFA, MUFA และ PUFA) ในเนื้อปลาได้ โดยองค์ความรู้นี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของปลานิล และปลาน้ำจืดชนิดอื่นได้ต่อไป

คำสำคัญ: โอเมก้า 3, ปลานิล, น้ำมันงาม้อน

Abstract

Tilapia were fed diets supplemented with 6 % perilla oil (w/w) for 60 days (853 ± 50.90 g). Then, the fish was collected at 0 (control), 30, and 60 days to compare the level of omega-3 fatty acid with those of other tilapia fillet, including Atlantic salmon and Pangasius dory fillet. Our results demonstrated that the amount of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), and polyunsaturated fatty acids (PUFA) significantly increased in the tilapia received supplemented diets with perilla oil at 30 and 60 days ($p<0.05$). Furthermore, the tilapia fed with perilla oil supplements for 30 and 60 days had a significant increase in omega-3 or ω3 (alpha-linolenic acid; ALA) by 3.5 and 7 folds, respectively ($p<0.05$). At 30 and 60 days, the supplementation of perilla oil significantly increased omega-6 or ω6 (linoleic acid; LA) by 2.16 and 2.25 folds, respectively ($p<0.05$). For comparing 60-day-tilapia-supplemented perilla oil with both commercial fishes, ALA in tilapia fillet was higher than that in Atlantic salmon and Pangasius dory fillet by 1.6 and 14 folds. In addition, the dose of docosahexaenoic acid (DHA) in tilapia fillet was equal to that of Atlantic salmon fillet. The Atlantic salmon fillet did not different ($p>0.05$) and increased more than the Pangasius dory fillet ($p<0.05$). Additionally, the ω6/ω3 ratios significantly decreased by 3.26, 2.20, and 1.65 in the tilapia-supplemented perilla oil for 0, 30, and 60 days, respectively ($p<0.05$). Moreover, this ratio in the tilapia fillet was similar to that of the Atlantic salmon fillet (2.11) at 30 days of feeding. Taken together, this study indicates that supplementation of perilla oil in diets could be contributed to the accumulation of fatty acids (SFA, MUFA, and PUFA) in fish fillet. Therefore, this finding might be used as a guideline for enhancing the nutritional value of tilapia and other freshwater fishes.

Keywords: Omega-3, Tilapia, Perilla oil

บทนำ

กรดไขมันในอาหารนั้นมีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพ และรักษาโรค สามารถให้ผลทั้งในเชิงบวก ถ้าหากได้รับในปริมาณที่เหมาะสม และเชิงลบเมื่อได้รับกรดไขมันในปริมาณที่มากเกิน [1] โดยทั่วไปกรดไขมันแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid; SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และจำนวนพันธะคู่เป็น กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid; MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid; PUFA) ที่จำเป็นต่อการทำงานของสมอง และร่างกาย [2] โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนดังกล่าวประกอบด้วยกรดแอลฟาไลโนเลนิก (Alpha-linolenic acid; ALA) อีพีเอ (Eicosapentaenoic acid; EPA) และดีเอชเอ (Docosahexaenoic Acid; DHA) ทั้งนี้กรดไขมัน ALA จัดเป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จำเป็นต้องได้รับจากการบริโภคอาหาร [3] เพื่อนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ EPA ที่มีคุณสมบัติช่วยลดการอักเสบต่างๆ ของร่างกาย และช่วยลดความเครียด ในส่วนของกรดไขมัน DHA พบว่ามีความสำคัญในด้านการพัฒนา และการทำงานของระบบประสาท โดยเฉพาะระบบสมอง [3, 4] จากสาเหตุที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์สารเหล่านี้ขึ้นได้ ดังนั้นปลา

ทะเลที่มีการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนจึงเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น และจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพของมนุษย์ ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ป้องกันการอักเสบ และป้องกันภาวะทุพโภชนาการ [5, 6] สาเหตุที่ปลาทะเลมีกรดไขมันที่จำเป็นดังกล่าวสูง เนื่องจากในทะเลมีแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ที่พบได้จากสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ได้แก่ สาหร่ายขนาดเล็ก แบคทีเรีย และยีสต์ ที่หลากหลายเพียงพอต่อการบริโภคของปลาทะเลให้เกิดการสะสมในเนื้อปลา [7, 8]

กรดไขมัน ALA ถือเป็นกรดไขมันตั้งต้นที่พบได้ในพืชน้ำมันหลายชนิด และร่างกายสามารถเปลี่ยนรูปนำไปสังเคราะห์ให้เกิดเป็น EPA และ DHA ได้ต่อไป ดังนั้นหากเรานำน้ำมันจากพืชน้ำมันดังกล่าวมาเป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาย่อมส่งผลให้ปลาที่กินอาหารดังกล่าวมีปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นเหล่านั้นสะสมในร่างกายได้ ซึ่งปลาดังกล่าวจะสามารถนำมาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพของมนุษย์ต่อไป โดยก่อนหน้านี้มีรายงานการศึกษาการเติมน้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ (flaxseed oil) ทดแทนการใช้น้ำมันดอกทานตะวัน (sunflower oil) ในอาหารเลี้ยงปลานิล และตรวจสอบการสะสมของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (0, 10, 20 และ 30 วัน) พบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมน้ำมันเมล็ดแฟลกซ์มีการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมน้ำมันดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และยังพบเพิ่มเติมว่าปริมาณกรดไขมันที่สะสมในปลานิลจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการเลี้ยงที่นานขึ้นอย่างชัดเจน [9] นอกจากนี้ยังพบรายงานการทดแทนน้ำมันดอกทานตะวันด้วยน้ำมันงาม้อน (perilla oil) ในอาหารเลี้ยงปลานิลที่ส่งผลต่อการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่เลี้ยงระยะเวลาแตกต่างกัน (0, 10, 20, และ 30 วัน) พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนมีการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) รวมถึงปริมาณโอเมก้า 3 ในปลานิลจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง และจะเริ่มคงที่เมื่อเลี้ยงเกิน 20 วัน [10] จากผลการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของพืชน้ำมันที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 เป็นองค์ประกอบสามารถทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิลได้ ซึ่งการนำเอาน้ำมันจากพืชน้ำมัน โดยเฉพาะงาม้อนซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่มีปลูกมากทางภาคเหนือของประเทศไทย และมีโอเมก้า 3 ในปริมาณที่สูง [11] มาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ปลา และพืชน้ำมันนั้นได้ ดังนั้น จึงสนใจศึกษาปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อน ที่ความเข้มข้น 6 % (w/w) ในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 สูง และปลาแพนกาเซียสดอร์รี่เป็นปลาน้ำจืดที่นิยมบริโภคทั่วไป และมีราคาถูก ที่วางขายตามท้องตลาด เพื่อเป็นอีกหนึ่งแนวทางของการพัฒนาอาหารสุขภาพจากปลาน้ำจืดสำหรับคนทุกเพศทุกวัย

วิธีการ

การศึกษานี้ต้องการเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันของเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมน้ำมันงาม้อนในช่วงเวลาต่างๆ กับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (Atlantic salmon) และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ (Pangasius dory) ที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป การวิจัยครั้งนี้ได้รับการพิจารณา และอนุมัติจากคณะกรรมการจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่รับรองโครงการ 1-017-66 เลขที่คำขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-10203-2565

การเตรียมเนื้อปลานิลทดลอง

การทดลองนี้ใช้ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) อายุประมาณ 6 เดือน (น้ำหนักเริ่มต้น 853 ± 50.90 กรัม) จากฟาร์มเลี้ยงปลานิลบ้านต๋ำ อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา (กลุ่มผู้เลี้ยงปลานิลบ้านปลา) นำมาเลี้ยงในกระชังขนาด 3 x 5 เมตร ลึก 1.5 เมตร แขวนลอยในบ่อดินขนาด 3,500 ตารางเมตร จำนวน 1 กระชัง (ปล่อยปลานิล 15 ตัว) เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปชนิดลอยน้ำสำหรับปลาน้ำจืด และอาหารสำเร็จรูปที่ผสมด้วยน้ำมันงาม้อนแบบสกัดเย็นความเข้มข้น 6 % (w/w) โดยให้อาหาร 3 % ต่อน้ำหนักตัวปลา วันละ 2 ครั้ง เวลา 08:30 และ 17:00 น. เลี้ยงนาน 60 วัน เลี้ยงใน

พื้นที่ปฏิบัติการสาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา สุ่มเก็บตัวอย่างปลานิล 3 ครั้ง ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม) 30 และ 60 วันหลังจากปลาได้รับอาหาร แต่ละครั้งเก็บปลาจำนวน 3 ตัว นำปลาดังกล่าวมาทำให้สลบด้วยน้ำแข็ง ก่อนที่จะทำการแล่เนื้อโดยเลือกใช้เนื้อปลาบริเวณข้างลำตัวของปลา (ตัวละ 300 กรัม) และเก็บเนื้อปลาสดเอาไว้โดยเครื่องผนึกสุญญากาศ ก่อนนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้ -20 °C เพื่อรอส่งวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันพร้อมกันต่อไป

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร และปริมาณกรดไขมันในเนื้อปลา

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล ซึ่งประกอบด้วยอาหารสำเร็จรูปที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อน และอาหารสำเร็จรูปที่ผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) โดยสุ่มอาหารปลามาประเภทละ 300 กรัม เพื่อวิเคราะห์หาค่าโภชนาการต่างๆ ดังนี้ เถ้า ความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และพลังงาน โดยใช้วิธี In house method TE-CH-208 based on AOAC [12] จากนั้นทำการวิเคราะห์เนื้อปลา โดยการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์เนื้อปลาทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ได้แก่ เนื้อปลานิลก่อนเริ่มการทดลอง (0 วัน) เนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) นาน 30 และ 60 วัน เนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ (น้ำหนักเนื้อปลาที่วิเคราะห์มีน้ำหนักประเภทละ 300 กรัม) โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันรวมทั้งหมด และอัตราส่วน Omega-6/Omega-3 โดยใช้ GC-MS ตามวิธีของ Bligh and Dyer [13]

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำค่าเฉลี่ยของข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงปลาทั้ง 2 แบบ มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติ Independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % และนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณกรดไขมันในเนื้อปลาที่ได้จากการวิเคราะห์ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 27 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการศึกษา

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงปลานิล

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงปลานิล ที่ไม่ผสมน้ำมันงาม้อน และผสมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) พบว่าอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) มีค่าไขมัน และพลังงานเพิ่มสูงขึ้นชัดเจน ($p<0.05$) ส่วนเถ้า ความชื้น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (Table 1)

Table 1 Chemical composition of experimental diets (g/100g)

Proximate analysis	Commercial feed	Commercial feed + 6% Perilla oil
Ash	8.67 ± 0.50	8.57 ± 0.32
Moisture	8.22 ± 0.36	7.63 ± 0.53
Fat	7.35 ± 0.34[b]	10.86 ± 0.99[a]
Protein	31.71 ± 1.25	30.38 ± 1.52
Carbohydrate	42.69 ± 2.30	43.00 ± 2.02
Energy (Kcal/100g)	273.42 ± 7.63[b]	374.74 ± 8.93[a]

* Result expressed as mean ± SD. Different letter in the same row indicate significantly different ($p<0.05$) by t-test.

† Calculation: Energy = (fat × 9) + (protein × 4) + (carbohydrate × 4)

กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ในเนื้อปลา

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิล (น้ำหนักเริ่มต้น 853 ± 50.90 กรัม) ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) ระยะเวลา 0, 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหาร เทียบกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ แบบแช่แข็งที่จำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า เนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหารมีค่ากรดไขมันอิ่มตัวได้แก่ Lauric acid (C12:0), Myristic acid (C14:0), Palmitic acid (C16:0) และ Stearic acid (C18:0) เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) เนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ในส่วนกรดไขมัน 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 (PUFA) กลุ่ม Omega-6 (LA) และ Omega-3 (ALA) พบว่า เนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) หากเทียบเนื้อปลานิลดังกล่าวกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนพบว่า กรดไขมัน Omega-6 มีปริมาณเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนประมาณ 2 เท่า ในส่วนกรดไขมัน Omega-3 ของเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตามระยะเวลาที่เลี้ยงปลานิลนาน 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหาร เพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 และ 7 เท่าตามลำดับ ที่น่าสนใจคือเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 60 วันมีค่ากรดไขมันดังกล่าวสูงกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอนและปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ถึง 1.6 และ 14 เท่าตามลำดับ

สำหรับปริมาณสารเมแทบอไลต์ (metabolite) ของ Linolenic acid พบว่า DHA ในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนนาน 30 และ 60 วันมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน มากกว่าเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) และมากกว่าเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ประมาณ 2-3 เท่า ส่วน EPA ไม่พบในเนื้อปลาทุกประเภท (Table 2)

กรดไขมันรวมทั้งหมด และอัตราส่วน Omega-6/Omega-3 ในเนื้อปลา

ปริมาณกรดไขมันรวมทั้งหมดในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (w/w) 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 ($\omega 6/\omega 3$) กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ผลเช่นเดียวกับในเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับเนื้อปลานิลก่อนได้รับอาหารทดลอง (0 วัน) และเนื้อปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ (Table 3) เป็นที่น่าสนใจว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อน 30 วัน มีปริมาณกรดไขมันรวมอีกทั้งสัดส่วน $\omega 6/\omega 3$ ใกล้เคียงกับในเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (Table 3)

Table 2 The composition of saturated and unsaturated fatty acids of tilapia fillet fed with 6 % perilla oil (w/w) for 0, 30, and 60 days after received, Atlantic salmon and Pangasius dory fillet.

Fatty acid composition	Nile tilapia			Atlantic salmon	Pangasius dory
	0 DAF	30 DAF	60 DAF		
Saturated fatty acid; SFA (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}	0.00 ± 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; MUFA (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; PUFA (g/100g)					
Linoleic acid; LA (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; ALA (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; EPA (C20:5n3)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Docosahexaenoic acid; DHA (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}

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

† DAF= days after feeding

Table 3 The total fatty acids and the Omega-6/Omega-3 ratio of tilapia fillet fed with 6 % perilla oil (w/w) for 0, 30, and 60 days after received, Atlantic salmon and Pangasius dory fillet.

Fatty acid composition	Nile tilapia			Atlantic salmon	Pangasius dory
	Initial (0 DAF)	30 DAF	60 DAF		
Total saturated fatty acid; 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]
Total unsaturated fatty acid; 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]
Total monounsaturated fatty acid; 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]
Total polyunsaturated fatty acid; 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]	147.50 ± 0.96[e]
Omega-6/Omega-3 (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]

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

† DAF= days after feeding

วิจารณ์

การศึกษาผลการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) ในอาหารเลี้ยงปลานิล จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนที่ใช้เลี้ยงปลานิลพบว่า มีปริมาณไขมัน (10.86±0.99 %) และพลังงาน (374.74 ± 8.93 %) เพิ่มขึ้นมากกว่าอาหารสำเร็จรูปประมาณ 1.5 เท่า ($p<0.05$) สอดคล้องกับการเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 4, 8 และ 12 % ในอาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงปลาซิวใบไผ่สีกุหลาบ ที่ส่งผลให้มีปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 1.6 เท่า [14] ซึ่งใกล้เคียงกับคำแนะนำที่ระบุว่าควรมีระดับไขมันประมาณ 5-12 % สำหรับอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลานิล [15] นอกจากนี้เมื่อพิจารณาส่วนประกอบหลักของกรดไขมันที่พบในน้ำมันงาม้อน พบว่าในน้ำมันงาม้อนมีกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 เหมือนกับในเนื้อปลานิลทดลองที่ได้รับอาหารผสมน้ำมันงาม้อน โดยปริมาณกรดไขมันเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ปลานิลได้รับอาหารผสมน้ำมันงาม้อน

การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันงาม้อนความเข้มข้น 6 % (w/w) นาน 30 และ 60 วัน พบว่ากรดไขมันอิ่มตัวไม่จำเป็นกลุ่ม Lauric acid, Myristic acid, Palmitic acid และ Stearic acid เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมกากเมล็ดเชียระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน พบว่ากรดไขมันดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) [16] และสอดคล้องกับการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารที่เสริมกากงาม้อน พบว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว ชนิด Myristic acid และ Stearic acid มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเลี้ยงผ่านไป 30 วัน [4] ทั้งนี้ Palmitic acid, Stearic acid, Myristic acid ถือเป็นกรดไขมันอิ่มตัวไม่จำเป็นที่พบได้มากในอาหารเลี้ยงปลา และกรดไขมันเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาหลายชนิด [17] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการเสริม Lauric acid ในอาหารเลี้ยงลูกปลา *Acanthopagrus schlegelii* (black sea bream) ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลารวมถึงเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme activity) ลดสภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) และทำให้ปลามีภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น [18]

การวิเคราะห์ปริมาณ TMUFA ในเนื้อปลานิล พบว่า Oleic acid มีค่าสูงที่สุดและมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่ 30 และ 60 วันหลังได้รับอาหาร รองลงมาคือ Palmitoleic acid และ Erucic acid ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาในลูกปลา *Seriola quinqueradiata* ที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันคาโนล่า (canola oil) และน้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นส่วนผสม พบว่า ปริมาณ Oleic acid สูงสุดรองลงมาคือ Palmitoleic acid [19] นอกจากนี้ยังพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมกากเมล็ดเชียระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีปริมาณ Oleic acid สูงสุดรองลงมาคือ Palmitoleic acid และ Erucic acid เช่นกัน [16] ในส่วนของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมน้ำมันเมล็ดฝ้าย (linseed oil) นาน 32 วัน ก็ให้ผลในทางเดียวกันคือ Oleic acid มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น [20] สำหรับการศึกษาในเนื้อปลาทะเล *Dicentrarchus labrax* และ *Sparus aurata* ยังพบว่า Oleic acid ถือเป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน [21] ทั้งนี้ยังพบว่า Oleic acid ยังมีประโยชน์ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกัน รวมถึงช่วยต้านทานต่อโรค ในปลากะรังลูกผสม (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*) ที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกรด Oleic acid ในอาหารที่ใช้เลี้ยง [22] และยังมีรายงานเพิ่มเติมว่าการรับประทานอาหารที่มี Palmitic acid และ Oleic acid สามารถช่วยต้านการอักเสบ เพิ่มระดับภูมิคุ้มกัน และลดระดับไขมัน (Low Density Lipoprotien; LDL), cholesterol, triglyceride และเพิ่มไขมันดี (High density lipoprotien; HDL) ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และหลอดเลือดในมนุษย์ได้ [23, 24, 25]

การวิเคราะห์ปริมาณ TPUFA พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 30 และ 60 วันหลังจากได้รับอาหาร 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 [16] สำหรับการวิเคราะห์สารเมแทบอไลท์ของ ALA ในเนื้อปลาทุกชนิดที่ทำการศึกษาครั้งนี้ไม่พบ EPA แต่พบเพียง DHA ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน ซึ่งให้ผลในทางเดียวกับ LA โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมด้วยน้ำมันงาม้อน กากเมล็ดงาม้อนที่เหลือจากกระบวนการบีบน้ำมัน (perilla seed brand) น้ำมันเมล็ดเชีย

(chia seed oil) และน้ำมันปลา (fish oil) [4, 16, 20, 21] การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันกลุ่มนี้คาดว่า เมื่อปลานิลที่ได้รับอาหารผสมน้ำมันงาม้อนที่มีโอเมก้า 3 ในปริมาณสูง ปลาจะเปลี่ยนกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวโดยกลไกทางชีวเคมีผ่านการทำงานของเอนไซม์ desaturases หรือ elongases เพื่อเปลี่ยนเป็น EPA และ DHA [26, 27] ส่งผลให้เกิดการสะสมกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวในเนื้อปลาได้ ซึ่งกรดไขมันที่จำเป็นนี้ปลานิลไม่สามารถสร้างขึ้นเองในร่างกายได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยตรงเท่านั้น [26, 28] ปริมาณของ EPA และ DHA ที่ได้อาจขึ้นอยู่กับ สิ่งแวดล้อม ขนาด อายุ และสัดส่วนขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันงาม้อน [20]

การทดลองนี้พบว่าเนื้อปลานิลก่อนเริ่มการทดลอง (0 วัน) 30 และ 60 วันหลังได้รับอาหาร มีค่าสัดส่วนสัดส่วน ω6/ω3 ลดลงตามระยะเวลาในการเลี้ยง เท่ากับ 3.27, 2.19 และ 1.65 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนทดแทนการใช้น้ำมันดอกทานตะวัน ที่แสดงให้เห็นว่ายิ่งเลี้ยงนานสัดส่วนดังกล่าวจะลดลงตามเวลาที่เลี้ยง [10] นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนนาน 30 วัน มีสัดส่วน ω6/ω3 ใกล้เคียงกับเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน (เท่ากับ 2.11) และในเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนนาน 60 วัน มีสัดส่วน ω6/ω3 ต่ำกว่าเนื้อปลาแอตแลนติกแซลมอน ทั้งนี้สัดส่วน ω6/ω3 ในปลาน้ำจืด และปลาทะเลควรมีค่าไม่เกิน 4.0 จึงจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ และหลอดเลือดได้ [29] นอกจากนี้องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization) แนะนำให้บริโภคกรดไขมันที่มีสัดส่วนกรดไขมันดังกล่าวในสัดส่วน 5:1 แต่ไม่ควรเกิน 10:1 [30]

การศึกษานี้ทำให้ทราบว่าเนื้อปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนที่ความเข้มข้น 6 % (w/w) และเลี้ยงนาน 30 วัน ส่งผลให้มีปริมาณโอเมก้า 3, DHA และสัดส่วน ω6/ω3 ใกล้เคียงกับเนื้อปลาแซลมอนที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคของผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้ใช้ปลานิลที่มีอายุประมาณ 6 เดือน หากเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารผสมน้ำมันงาม้อนต่ออีก 30 วัน อาจจะส่งผลต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการเลี้ยงที่เหมาะสมผู้สนใจควรเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารดังกล่าวขณะที่ปลามีอายุประมาณ 5 เดือน และเมื่อปลาอายุครบ 6 เดือน จะได้ปลานิลที่มีคุณภาพที่ดีต่อผู้บริโภคทั่วไป

สรุปผลการศึกษา

การเสริมน้ำมันงาม้อนที่ความเข้มข้น 6 % (w/w) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 และ 60 วัน สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมัน TSFA, TUFA, TMUFA และ TPUFA ที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 (ALA) และกรดไขมันโอเมก้า 6 (LA) ซึ่งเป็นกลุ่มของกรดไขมันจำเป็นให้เพิ่มขึ้นสูงเทียบกับปลาที่มีขายตามท้องตลาดอย่างปลาแอตแลนติกแซลมอนและปลาแพนกาเซียสดอร์รี่ การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมน้ำมันงาม้อนเข้มข้น 6 % (w/w) ตั้งแต่ 30 วันขึ้นไป จะส่งผลให้เนื้อปลานิลมีสัดส่วนของ ALA, DHA และระดับ TPUFA สูงเทียบเท่ากับเนื้อปลาทะเลชนิดแอตแลนติกแซลมอนที่จำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งเหมาะสมสำหรับการลี้ยงโดยใช้อาหารเสริมน้ำมันงาม้อนเข้มข้น 6 % (w/w) มากกว่าการเลี้ยงที่ใช้เวลานานกว่า 30 วัน เนื่องจากจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการเลี้ยง เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 60 วัน ส่งผลให้ ALA และ TPUFA เพิ่มขึ้น แต่ DHA ไม่แตกต่างกับระยะเวลาการเลี้ยงที่ 30 วัน การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันกลุ่มนี้ในเนื้อปลานิลจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่จะได้รับกรดไขมันจำเป็นจากปลาน้ำจืดนอกเหนือจากปลาทะเลได้ และเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ALA และ DHA มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ที่สามารถต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ อีกทั้งเสริมการเรียนรู้ และความจำได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนหน่วยบริหาร และจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการ A13F650188 และทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีการศึกษา 2566 รวมถึงบุคลากรสาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen J, Liu H. Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review. Int. J. Mol. Sci. 2020;21(16): 5695.

[2] Aparicio E, Martín-Grau C, Hernández-Martinez C, Voltas N, Canals J, Arija V. Changes in fatty acid levels (saturated, monounsaturated, and polyunsaturated) during pregnancy. BMC Pregnancy and Childbirth, 2021;21:1-10.

[3] Carr I, Glencross B, Santigosa E. The importance of essential fatty acids and their ratios in aquafeeds to enhance salmonid production, welfare, and human health. Front. anim. sci. 2023;4:1147081.

[4] Santos HMC, Nishiyama MF, Bonafe EG, Oliveira CAL, Matsushita M, Visentainer JV, et al. Influence of a diet enriched with perilla seed bran on the composition of omega-3 fatty acid in Nile tilapia. JAOCS. 2014;91(11):1939–48. DOI:10.1007/s11746-014-2545-8.

[5] Zárate R, El Jaber-Vazdekis N, Tejera N, Pérez JA, Rodríguez C. Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. Clin Transl Med. 2017;6(1):25. DOI:10.1186/s40169-017-0153-6.

[6] Chen J, Jayachandran M, Bai W, Xu B. A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. Food Chem. 2022;369:130874.

[7] Khan AW, Chun-Mei H, Khan N, Iqbal A, Lyu SW, Shah F. Bioengineered Plants Can Be a Useful Source of Omega-3 Fatty Acids. Biomed Res Int. 2017;7348919. DOI:10.1155/2017/7348919.

[8] Innes JK, Calder PC. Marine omega-3 (N-3) fatty acids for cardiovascular health Int. J. Mol. Sci. 2020;21(4):1362.

[9] Justia KC, Hayashib C, Visentainera, JV, Souzaa NE, Matsushita M. 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 Chem. 2003;80(4):489–93.

[10] Carbonera F, Bonafe EG, Martin CA, Montanher PF, Ribeiro RP, Figueiredo LC, Almeidaand VC, Visentainer JV. Effect of dietary replacement of sunflower oil with perilla oil on the absolute fatty acid composition in Nile tilapia (GIFT). Food Chem. 2014;148:230-4.

[11] Suttajit M., Khanaree C., Tantipaiboonwong P., Pintha K. Omega-3, omega-6 fatty acids and nutrients of Nga-mon seeds in Northern Thailand. Naresuan Phayao Journal. 2015;8(2):80-6.

[12] AOAC. Official methods of analysis of AOAC international. 19th edition. Association of Analytical Communities: Maryland. 2012.

[13] Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. 1959;37: 911-7.

[14] Uppaphong S, Pintha K, Suwannapoom C, Wongwut A, Kadsakul P, Seetapan K. Effect of dietary supplementation of Perilla Mint (*Perilla frutescens*) oil on growth performances and enrichment of omega-3 fatty acid in Rosy Danio (*Danio roseus).* Health Science, Science and Technology Reviews, 2023;16(2):53–66.

[15] Plaipetch P. Nutritional management for culturing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Tjst. 2016;24(1): 12-39.

[16] Silva BCE, dos Santos HMC, Montanher PF, Boeing JS, Almeida VDC, Visentainer JV. Incorporation of omega‐3 fatty acids in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed chia (*Salvia hispanica* L.) bran. JAOCS. 2013;91(3):429-37.

[17] Sudaryono A. Fatty Acid Profiles in Fish Silage Made from Various Marine Feedstuffs as Potential Nutrition Sources for Aquaculture Feeds. J. Coast. Dev. 2005;8(3):187-204.

[18] Ullah S, Zhang J, Xu B, Tegomo AF, Sagada G, Zheng L, et al. 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. 2022;17(1):e0262427.

[19] Fukada H, Kitagima R, Shinagawa J, Morino H, Masumoto T. 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*. Fish Sci. 2020;86:107-18.

[20] Karapanagiotidis IT, Bell MV, Little DC, Yakupitiyage A. Replacement of dietary fish oils by alpha‐linolenic acid-rich oils lowers omega 3 content in tilapia flesh. Lipids. 2007;42(6):547-59.

[21] Amoussou N, Marengo M, Iko Afe OH, Lejeune P, Durieux ÉDH, Douny C, et al. Comparison of fatty acid profiles of two cultivated and wild marine fish from Mediterranean Sea. Aquac Int. 2022;30(3):1435-52.

[22] Natnan ME, Low CF, Chong CM, Rungrassamee W, Baharum SN. 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. J. Mar. Sci. Eng. 2023;11(8):1563.

[23] Carrillo Pérez C, Cavia Camarero MDM, Alonso de la Torre S. Role of oleic acid in immune system; mechanism of action; a review. Nutr Hosp. 2012;27(4):978-90.

[24] Kien CL, Bunn JY, Stevens R, Bain J, Ikayeva O, Crain K, et al. Dietary intake of palmitate and oleate has broad impact on systemic and tissue lipid profiles in humans. AJCN. 2014;99(3):436-45.

[25] Shramko VS, Polonskaya YV, Kashtanova EV, Stakhneva EM, Ragino YI. The short overview on the relevance of fatty acids for human cardiovascular disorders. Biomolecules. 2020;10(8):1127.

[26] Tocher DR, Agaba M, Hastings N, Teale AJ. Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). Fish Physiol. Biochem. 2001;24:309-20.

[27] Ackman RG, Mcleod C. Lipids and fatty acid of five freshwater food fishes of India. J. Food Lipids. 2002;9:127-45. DOI: 10.1111/j.1745-4522.2002.tb00214.x

[28] Teoh CY, Ng WK. 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. Aquac. 2016;465:311-22. DOI:10.1016/j.aquaculture. 2016.09.023.

[29] Teoh CY, Ng WK. 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. Aquac. 2016;465:311-22. DOI:10.1016/j.aquaculture .2016.09.023.

[30] Mukhametov A, Yerbulekova M, Aitkhozhayeva G, Tuyakova G, Dautkanova D. Effects of ω-3 fatty acids and ratio of ω-3/ω-6 for health promotion and disease prevention. Food Sci. Technol. 2022;42, e58321.