KKU Res. J. 2014; 19(1) : 119-130
http://resjournal.kku.ac.th

การประเมินอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 ในอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวโดยใช้อาหารที่สามารถผลิตเชิงพาณิชย์ได้

Evaluation on Optimum Dietary n-3/n-6 Fatty Acids Ratio for Growth of Asian Sea Bass, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790) Using the Commercially Practical Diet

พิเชต พลายเพชร[1], มนทกานติ ท้ามติ้น[1], จีรรัตน์ เกื้อแก้ว[2], ประดิษฐ์ ชนชื่นชอบ[3] และบัญญัติ ศิริธนาวงศ์[4]*
Pichet Plaipetch[1], Montakan Tamtin[1], Jeerarat Kuekaew[2], Pradit Chonchuenchob[3] and Banyat Siritanawongsa[4]*

[1]สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง จ. ชลบุรี
[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสุราษฎร์ธานี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง จ.สุราษฎร์ธานี
[3]ราชการบริหารส่วนกลาง กรมประมง กรุงเทพฯ
[4]คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จ. เพชรบุรี
**Correspondent author: pichet28@yahoo.com*

บทคัดย่อ

ทดสอบอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 ในอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลากะพงขาว เลี้ยงปลาขนาดเริ่มต้นเท่ากับ 2.90 กรัม ด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันเท่ากับ 43% และ 15% จำนวน 6 สูตร ที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 ในอาหารเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 และ 1.8 (สูตร 1-6) ตามลำดับ การกำหนดดังกล่าวทำให้มีระดับกรดไขมันชนิด Docosahexaenoic acid (DHA) ในอาหารเท่ากับ 0.82, 0.95, 1.02, 1.11, 1.17 และ 1.24% ตามลำดับ ให้อาหารทดลองแก่ปลาสูตรละ 3 ซ้ำ แบบให้กินจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง เป็นระยะเวลา 90 วัน ผลการทดลองพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีอัตรารอดตาย อัตราการกิน อัตราแลกเนื้อ การสะสมโปรตีนและการขับทิ้งไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 6 มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1-4 ($P<0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีสัดส่วนเนื้อและสัดส่วนตับไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 มีสัดส่วนอวัยวะภายในน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ($P<0.01$) และปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 และ 2 มีดัชนีความอ้วนมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ($P<0.01$) ปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้าในตัวปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่าปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันกลุ่ม n-3 โดยเฉพาะ DHA ในตัวปลาเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ในอาหารเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดไขมันกลุ่ม n-6 มีแนวโน้มลดลง

Abstract

Study on optimum dietary n-3/n-6 fatty acids ratio for growth of Asian sea bass, *Lates calcarifer* was conducted. Fish with an initial weight of 2.90 g, were fed with diets containing 43% crude protein and 15% crude lipid. There were

six test diets containing n-3/n-6 fatty acids ratio at 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 and 1.8 (D1-D6), respectively. These resulted in dietary docosahexaenoic acid (DHA) were 0.82, 0.95, 1.02, 1.11, 1.17, and 1.24%, respectively. Three fish groups were fed each diet to an apparent satiation twice a day for 90 days. The results showed that non-significant differences of survival rate, feed intake, feed conversion ratio, protein retention and nitrogen loading were observed among fish fed all the test diets ($P>0.05$). However, growth rate of fish fed D6 significantly lowered than those of fish fed D1-D4 ($P<0.05$). Non-significant differences of flesh ratio and hepato-somatic index were observed among fish fed all the test diets ($P>0.05$), but viscero-somatic index of fish fed D1 significantly lowered than those of fish fed the other diets ($P<0.01$). The significant higher condition factors were also observed for fish fed D1 and D2 compared with those of fish fed the other diets ($P>0.01$). The whole body contents of protein, lipid, and ash of fish fed all the test diets were similar. The whole body contents of both saturated and n-3 fatty acids tended to increase with increases of dietary n-3/n-6 fatty acids ratio and DHA, but n-6 fatty acids decreased.

คำสำคัญ: อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 อาหาร การเจริญเติบโต ปลากะพงขาว
Keywords: n-3/n-6 fatty acids ratio, diet, growth, Asian sea bass

1. บทนำ

นอกจากไขมันในอาหารจะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์น้ำแล้ว ยังเป็นแหล่งกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตโดยเฉพาะกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 (n-3) และโอเมก้า 6 (n-6) กรดไขมันเหล่านี้ถูกใช้ในการสร้างฟอสโฟไลปิดในเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ (1-2) ซึ่งสัตว์น้ำมีความต้องการกรดไขมันจำเป็นทั้งสองกลุ่มนี้แตกต่างกันตามชนิดและแหล่งที่อยู่อาศัย เช่น สัตว์ทะเลต้องการกรดไขมันกลุ่ม n-3 สูงกว่ากรดไขมันกลุ่ม n-6 (3-4) โดยเฉพาะกรดไขมันกลุ่ม n-3 ที่ไม่อิ่มตัวสูง (Highly unsaturated fatty acid, HUFA) หรือเรียกว่า n-3 HUFA ได้แก่ Eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) และ Docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) เนื่องจากไม่สามารถสังเคราะห์ได้ (5) ขณะที่ปลาน้ำจืดต้องการกรดไขมันกลุ่ม n-6 สูงกว่ากรดไขมันกลุ่ม n-3 เช่น ปลาหมอเทศหรือปลานิล (6-7) รวมทั้งปลากดหลวงที่ต้องการกรดไขมันกลุ่ม n-9 (8) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปลาสัตว์น้ำจืด ปลาทะเล ปลาที่อาศัยได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม (Diadromous fish) กุ้งทะเลและกุ้งน้ำจืด ต้องการกรดไขมันจำเป็นจากอาหารประมาณ 1.0-2.7, 0.4-3.7, 0.3-3.8, 0.3-3.8 และ 1% ตามลำดับ (5,9) เช่น ปลากะพงขาวต้องการกรดไขมัน n-3 HUFA (EPA และ DHA) ประมาณ 1.0-1.72% (10-11) อย่างไรก็ตาม DHA เป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับสัตว์น้ำทุกชนิดและสำคัญที่สุดโดยเฉพาะสัตว์ทะเลที่ไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันชนิดนี้ได้ ขณะที่สัตว์น้ำจืดสามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้กรดไขมันจำเป็นชนิดอื่นๆ เป็นสารตั้งต้น เช่น Linolenic acid (LNA, 18-3n-3) (9) มีงานวิจัยยืนยันว่าการสร้างสูตรอาหารที่ไม่คำนึงถึงความต้องการกรดไขมันจำเป็นของสัตว์น้ำที่เลี้ยงนั้นส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตได้ เช่น อาหารที่มีกรดไขมันกลุ่ม n-3 มากทำให้ปลานิลเจริญเติบโตช้าลง (7) นอกจากนี้ มีวิธีการทางอ้อมในการสร้างสูตรอาหารที่ทำให้แน่ใจได้ว่าสัตว์น้ำจะได้รับกรดไขมันจำเป็นที่เพียงพอต่อความต้องการคือการกำหนดในรูปอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เช่น Williams และ Barlow (12) แนะนำว่าอาหารปลากะพงขาวควรมีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 ประมาณ 1.5-1.8 หรืออาหารกุ้งทะเลควรมีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 ไม่น้อยกว่า 1.2 (13)

โดยทั่วไป การศึกษาความต้องการกรดไขมันของสัตว์น้ำมักนิยมใช้อาหารที่เตรียมจากวัตถุดิบอาหารชนิดบริสุทธิ์ (Purified diet) และใช้กรดไขมันชนิดเดี่ยวหลายรูปแบบ เช่น ในรูปเมทิลหรือเอทิลเอสเตอร์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ (9) แต่มีงานวิจัยยืนยันว่ากรดไขมันในรูปไตรกลีเซอไรด์ให้ผลดีกว่าในเรื่องการเจริญเติบโต (14) สำหรับการศึกษาความต้องการกรดไขมันจำเป็นของ

ปลากะพงขาวซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยและประเทศในกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยใช้กรดไขมันเหล่านี้ได้ข้อสรุปว่าปลากะพงขาวต้องการ LNA, EPA, DHA ประมาณ 0.45, 0.75 และ 1.0% ของอาหาร ตามลำดับ (12,15) อย่างไรก็ตาม อาจศึกษาความต้องการกรดไขมันจำเป็นโดยทางอ้อมได้ เช่น การศึกษาการแทนที่น้ำมันจากสัตว์ทะเลด้วยน้ำมันจากพืชแต่ละชนิดหรือหลายชนิดร่วมกัน (5) ซึ่งข้อดีของการทดสอบวิธีการนี้คือสามารถสร้างสูตรอาหารที่ผลิตเชิงพาณิชย์ได้ (Commercially practical diet) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบซ้ำเกี่ยวกับความต้องการอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ในอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต อัตรารอดตายและการใช้ประโยชน์อาหารของปลากะพงขาวโดยใช้อาหารที่สามารถผลิตเชิงพาณิชย์ได้ และศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้ต่อการขับทิ้งไนโตรเจน ลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการ เช่น ดัชนีความอ้วน เป็นต้น และปริมาณกรดไขมันในปลากะพงขาว โดยระดับ DHA ในอาหารของการทดลองนี้ได้จากการปรับอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 จากค่า 0.3 ไปจนถึงค่า 1.8 ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำโดยงานวิจัยที่ผ่านมา (12)

2. วิธีการวิจัย

2.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) ประกอบด้วย 6 ชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ รายละเอียดวิธีการทดลอง มีดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 0.3
ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 0.6
ชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 0.9
ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 1.2
ชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วน กรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 1.5
ชุดการทดลองที่ 6 อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 1.8

2.2 อาหารทดลองและการผลิตอาหาร

องค์ประกอบวัตถุดิบอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร แสดงในตารางที่ 1 การสร้างสูตรอาหารมีการปรับระดับกรดอะมิโนจำเป็นให้สอดคล้องกับความต้องการและปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่พบในตัวปลา (16-17) ยกเว้นปริมาณเมไทโอนีนในอาหารที่ต้องปรับโดยใช้เสริมกรดอะมิโนชนิดสังเคราะห์ และปรับอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 ของอาหารทดลองให้ได้ค่าตามที่ต้องการโดยใช้น้ำมันปลาทูน่าและน้ำมันถั่วเหลือง ผลิตอาหารโดยการชั่งวัตถุดิบอาหารรวมกันของทั้ง 6 สูตรๆ ละ 2 กิโลกรัม ยกเว้นส่วนของน้ำมันทั้งสองชนิด ผสมวัตถุดิบอาหารใน Hobart mixer เป็นเวลา 15 นาที ก่อนชั่งแยกวัตถุดิบผสมอาหารออกเป็น 6 สูตร ผสมวัตถุดิบอาหารแต่ละสูตรกับน้ำมันปลาทูน่าและน้ำมันถั่วเหลืองตามปริมาณที่คำนวณไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำอัตราส่วน 25% ก่อนทำการผสมต่ออีก 10 นาที อัดวัตถุดิบอาหารแต่ละสูตรด้วยเครื่องบดเนื้อโดยผลิตอาหารที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร สำหรับการเลี้ยงปลาในเดือนแรก ก่อนเปลี่ยนเป็นอาหารขนาด 3 และ 4 มิลลิเมตร สำหรับการเลี้ยงปลาในเดือนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อบอาหารที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C นาน 36 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 ^{0}C ในช่วงก่อนและระหว่างการทดลอง วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองด้วยวิธีการดังนี้ วิเคราะห์เถ้า ความชื้นและไขอาหารตามวิธีของ AOAC (18) วิเคราะห์โปรตีนด้วยเครื่อง Truspec CN Carbon/Nitrogen Determination (LECO, MI, USA: St. Joseph) วิเคราะห์ไขมันด้วยเครื่อง Fat Extractor TFE 2000 (LECO) และวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) รุ่น 6890N (Algilent, CA, USA: Santa Clara) องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบและกรดไขมันในอาหารทดลอง แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบวัตถุดิบและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง (%)

	อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6					
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
ปลาป่นชิลี (โปรตีน 65%)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
กากถั่วเหลือง	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
ตับหมึกป่น	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
หวีตกลูเต้น	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
เมไทโอนีนสังเคราะห์	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
แป้งมันสำปะหลัง	9.98	9.98	9.98	9.98	9.98	9.98
น้ำมันถั่วเหลือง	10.50	7.85	5.90	4.65	3.75	3.10
น้ำมันปลาทูน่า	-	2.65	4.60	5.85	6.75	7.40
วิตามินรวม[1]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
แร่ธาตุรวม[2]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
วิตามินซี 35%	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
บีเอชที (สารกันหืน)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบ (%)						
ความชื้น	7.00	6.76	6.85	7.05	6.94	7.10
โปรตีน	42.98	43.36	43.45	43.36	43.18	43.03
ไขมัน	14.88	15.10	15.19	14.99	14.95	14.82
เถ้า	14.28	14.60	14.39	14.38	14.25	14.17
ใยอาหาร	1.57	1.67	1.61	1.56	1.59	1.53
NFE	19.29	18.51	18.51	18.66	19.09	19.35
อัตราส่วนกรดไขมัน						
n-3/n-6	0.37	0.60	0.87	1.16	1.43	1.78
DHA (% อาหาร)	0.82	0.95	1.02	1.11	1.17	1.24

[1]วิตามินรวม ประกอบด้วย (ก./ก.ก.) A 0.138; D 0.002; E 10; K 5; B_1 6; B_2 10; B_3 40; B_5 10; B_6 4; B_{12} 0.01; p-amino benzoic acid 5; folic acid 1.5; biotin 0.6; inositol 200; choline chloride 500 และ vitamin C 50 g

[2]แร่ธาตุรวม ประกอบด้วย (ก./ก.ก.) KCl 131.7; $NaH_2PO_4.2H_20$ 394.7; $CaHPO_4$ 210.5 และ KH_2PO_4 263.1 g

ตารางที่ 2 กรดไขมันในอาหารทดลอง (% อาหารแห้ง)

	อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6					
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
C 14:0	0.12	0.21	0.26	0.27	0.29	0.29
C 14:1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C 15:0	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
C 16:0	1.47	1.57	1.64	1.58	1.60	1.56
C 16:1	0.18	0.29	0.36	0.36	0.41	0.40
C 17:0	0.06	0.08	0.10	0.09	0.08	0.08
C 17:1	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
C 18:0	0.47	0.49	0.51	0.49	0.49	0.48
C 18:1n-9 (OLA)	2.34	1.92	1.74	1.54	1.47	1.37
C 18:2n-6 (LOA)	3.61	2.37	1.63	1.24	1.01	0.83
C 18:3n-6	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02
C 18:3n-3 (LNA)	0.20	0.18	0.16	0.13	0.11	0.10
C 20:0	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
C 20:1n-9	0.07	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11
C 20:3n-6	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
C 20:4n-6 (ARA)	0.08	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12
C 22:0	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
C 20:5n-3 (EPA)	0.37	0.39	0.39	0.41	0.41	0.42
C 24:0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
C 22:6n-3 (DHA)	0.82	0.95	1.02	1.11	1.17	1.24
ปริมาณกรดไขมันรวม	10.06	8.89	8.25	7.69	7.52	7.22
กรดไขมันอิ่มตัว	2.26	2.49	2.64	2.57	2.60	2.54
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	7.80	6.41	5.61	5.12	4.92	4.67
กรดไขมันกลุ่ม n-3	1.40	1.52	1.57	1.64	1.70	1.75
กรดไขมันกลุ่ม n-3 HUFA	1.20	1.34	1.41	1.51	1.59	1.66
กรดไขมันกลุ่ม n-6	3.77	2.53	1.80	1.42	1.19	0.99
อัตราส่วน n-3/n-6	0.37	0.60	0.87	1.16	1.43	1.78

2.3 ระบบและการเลี้ยงปลาทดลอง

ฝึกลูกปลากะพงขาวขนาด 3 นิ้ว จำนวน 500 ตัว ให้กินอาหารสำเร็จรูปสำหรับกุ้งขาวซึ่งมีโปรตีนและไขมันไม่ต่ำกว่า 38 และ 5% ตามลำดับ แบบให้กินจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้ปลาคุ้นเคยกับรูปแบบอาหารทดลองและวิธีการให้อาหาร จากนั้นคัดขนาดลูกปลาให้มีน้ำหนักเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 2.90 กรัม จำนวน 270 ตัว สุ่มปล่อยลงตู้ทดลองที่มีน้ำ 80 ลิตร อัตราปล่อย 15 ตัว/ตู้ จำนวน 18 ตู้ โดยตู้ทดลองทั้งหมดมีการเชื่อมต่อกับระบบน้ำหมุนเวียนที่ประกอบด้วยถังดักตะกอน โปรตีนสกิมเมอร์ และถังไบโอฟิลเตอร์ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดการเปลี่ยนถ่ายน้ำและลดการรบกวนปลาจากการทำความสะอาดตู้และการเปลี่ยนถ่ายน้ำ เลี้ยงปลาด้วยอาหารทดลองสูตรละ 3 ตู้ แบบให้กินจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง (เวลา 09.00 และ 15.00 น.) ทำการดูดตะกอนในตู้ปลาวันละ 2 ครั้ง ในช่วงก่อนให้อาหารมื้อแรกและหลังให้อาหารมื้อที่ 2 นอกจากนี้ ทำความสะอาดตู้ทดลองและเปลี่ยนถ่ายน้ำในตู้ปลาและระบบน้ำหมุนเวียนอัตรา 50% ทุกๆ 4 วัน และตรวจวัดคุณภาพน้ำทำสัปดาห์ละครั้งเวลา 09.00-10.00 น.ค่าที่ตรวจวัดได้แก่ ความเค็ม ความเป็นกรดด่าง แอมโมเนียรวม ไนไตรท์ อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ซึ่งระหว่างการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 28-31 ppt, 7.5-7.8, 0.5-0.7 ppm, 0.01 ppm, 27-30 ^{0}C และ 5-6 ppm ตามลำดับ ทำการชั่งน้ำหนักปลาแบบรวมวัดความยาวและตรวจนับอัตรารอดตายทุกๆ 30 วัน เมื่อทดลองครบ 90 วัน สุ่มปลาตู้ละ 6 ตัว เพื่อศึกษาดัชนีความอ้วน สัดส่วนเนื้อ สัดส่วนตับและสัดส่วนอวัยวะภายใน รวมทั้งวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของปลาก่อนและหลังทดลองด้วยวิธีการเดียวกันกับการวิเคราะห์อาหารทดลอง

2.4 การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารและลักษณะทางกายภาพของปลาทดลอง โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

น้ำหนักเฉลี่ย (ก.) = น้ำหนักปลารวม/จำนวนปลา

ความยาวเฉลี่ย (ซม.) = ความยาวปลารวม/จำนวนปลา

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) =

[Ln (น้ำหนักสุดท้าย) – Ln(น้ำหนักเริ่มต้น)]/วัน x 100

อัตราการรอดตาย (%) = (จำนวนปลาที่เหลือ/จำนวนปลาเริ่มต้น) x 100

อัตราการกินอาหาร (%นน.ตัว/วัน)=(อาหารที่ปลากิน/ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก)/วัน x 100

อัตราแลกเนื้อ = ปริมาณอาหารแห้งที่ปลากิน/น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น/โปรตีนจากอาหารที่ปลากิน

การสะสมของโปรตีนในร่างกาย (%) = (ปริมาณโปรตีนในร่างกาย/โปรตีนจากอาหารที่ปลากิน) x 100

การขับทิ้งไนโตรเจน (ก./ก.ก. ปลา/วัน) = [(ไนโตรเจนที่ปลากิน – ไนโตรเจนที่สะสมในตัวปลา)/น้ำหนักปลาที่ เพิ่มขึ้น]/วัน (19)

ดัชนีความอ้วน = (น้ำหนัก, ก.)/(ความยาว, ซม.)^{3} x 100 (20)

สัดส่วนเนื้อ (%) = (น้ำหนักของเนื้อปลาส่วนที่แล่ได้/น้ำหนักปลา) x 100

สัดส่วนตับ (%) = (น้ำหนักของตับ/น้ำหนักปลา) x 100

สัดส่วนอวัยวะภายใน (%) = (น้ำหนักของอวัยวะภายใน/น้ำหนักปลา) x 100

2.5 การวิเคราะห์สถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ของข้อมูลการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหาร การขับทิ้งไนโตรเจน ลักษณะทางกายภาพและเคมีของปลาทดลอง และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ ($P<0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

การทดลองนี้พบว่าการใช้น้ำมันปลาทูน่าเพื่อปรับอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 ของอาหารให้เพิ่มขึ้นไม่กระทบต่ออัตรารอดตายของปลากะพงขาว แต่ทำให้อัตราการกินอาหารของปลากะพงขาวเพิ่มขึ้นแม้จะไม่แตกต่างกันระหว่างปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตร ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มน้ำมันปลาทูน่าในสูตรอาหาร

ทำให้ LNA และ Arachidonic acid (ARA, 20:4n-6) ในอาหารเพิ่มขึ้น มีรายงานว่ากรดไขมันทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นสารดึงดูดการกินอาหารของสัตว์น้ำ เช่น การศึกษาในปลาดาว (21) และหอยหวาน (22) และการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมาที่รายงานว่าน้ำมันปลาในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้นทั้งจากการเพิ่มปริมาณปลาป่นหรือการเพิ่มน้ำมันปลาโดยตรงทำให้ปลากะพงขาวกินอาหารมากขึ้น (23-24) รวมทั้งปลา European sea bass (25) แต่อัตราการกินของปลาที่เพิ่มขึ้นในการทดลองนี้กลับทำให้การใช้ประโยชน์อาหารด้อยลง เช่น ทำให้อัตราแลกเนื้อเพิ่มขึ้นและการสะสมโปรตีนในร่างกายลดลงแม้จะไม่แตกต่างกันระหว่างปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตร ($P>0.05$) และการสะสมโปรตีนในร่างกายที่ลดลงอาจสะท้อนได้จากค่าการขับทิ้งไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น เป็นไปได้ว่าอัตราการกินที่เพิ่มขึ้นทำให้ปลาได้รับโปรตีนจากอาหารมากขึ้นจนเกินความต้องการและจำเป็นต้องมีการขับทิ้ง

ขณะเดียวกันการเพิ่มอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 จนถึงค่า 1.8 ที่มีผลให้ระดับ DHA ในอาหารมีค่าเท่ากับ 1.24% ทำให้ปลามีอัตราเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 ซึ่งทำให้มีระดับ DHA ในอาหารเท่ากับ 0.82, 0.95, 1.02 และ 1.11% ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ทั้งนี้น่าจะเกิดจากปลาได้รับ DHA เกินความต้องการ และหากพิจาณาในแง่ระดับกรดไขมัน n-3 HUFA (EPA และ DHA) ในอาหารของการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าไม่ควรมีค่าเกิน 1.2% ซึ่งใกล้เคียงกับคำแนะนำของ Boonyaratpalin (11) ที่รายงานว่าอาหารปลากะพงขาวควรมีกรดไขมันกลุ่มนี้อยู่ในช่วง 1.0-1.7% เมื่อพิจารณาเฉพาะระดับ DHA ในอาหารปลากะพงขาวจากการทดลองนี้พบว่าไม่ควรมีค่าเกิน 0.82 % ถ้าหากอาหารมีกรดไขมันกลุ่ม n-3 อื่นๆ ด้วย เช่น มี LNA และ EPA รวมกันประมาณ 0.4 % และ Glencross และ Rhutherford (15) ยืนยันว่าอาหารที่มีทั้ง EPA และ DHA มีผลให้ปลากะพงขาวเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเทียบกับการมี DHA เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้งานวิจัยล่าสุดยืนยันว่าปลากะพงขาวสามารถเปลี่ยนกรดไขมันชนิด LNA ไปเป็น EPA และ DHA ได้ (26) ทั้งนี้น่าจะเกิดจากปลากะพงขาวมีการปรับตัวด้านสรีระวิทยาเพื่อให้สามารถอาศัยได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำทะเล (5) ขณะที่ปลาทะเลไม่สามารถสามารถสร้างกรดไขมัน n-3 HUFA จากกรดไขมันชนิดนี้ได้ (27) และเมื่อเปรียบเทียบความต้องการ DHA ของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่สามารถผลิตเชิงพาณิชย์ได้ (Commercially practical diet) ในการทดลองนี้พบว่ามีค่าต่ำกว่าการทดสอบด้วยอาหารที่ใช้ DHA สังเคราะห์ที่มีค่าเท่ากับ 1% (15)

การทดลองนี้สอดคล้องกับ Glencross และ Rhutherford (15) ที่รายงานว่าระดับ DHA ในอาหารที่สูงเกินไปทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำลดลง และแสดงให้เห็นว่าอาจลดระดับน้ำมันปลาและแทนที่ด้วยน้ำมันจากพืชได้ในอัตราส่วนที่สูงขึ้นสำหรับสูตรอาหารที่มีการใช้ปลาป่นในอัตราสูง เช่น การใช้น้ำมันถั่วเหลือง (28) ดังนั้นอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 อาจไม่ใช่ปัจจัยสำคัญเนื่องจากอาหารในการทดลองนี้ที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 0.3 สามารถให้ DHA ที่เพียงพอกับความต้องการของปลากะพงขาวได้ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 1.5-1.8 ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำเป็นอย่างมาก (12) อย่างไรก็ตาม การสร้างสูตรอาหารที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 สูงมีข้อดีในแง่ที่ทำให้แน่ใจได้ว่าอาหารจะมีกรดไขมันจำเป็นเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ เช่น กรณีมีการใช้แหล่งโปรตีนพืชมาก เช่น กากถั่วเหลืองและกากคาโนล่าที่มีสารยับยั้งการย่อยอาหาร (29) หรืออาหารมีระดับใยอาหารมาก (30) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการย่อยอาหารได้และอาจทำให้สัตว์น้ำได้รับกรดไขมันจำเป็นไม่เพียงพอต่อความต้องการ หรือสำหรับสูตรอาหารที่มีการใช้ปลาป่นน้อยกว่า 30% ซึ่งทำให้ปลาได้รับกรดไขมัน n-3 HUFA จากปลาป่นไม่เพียงพอต่อความต้องการ (5)

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (X± SD)

	อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6					
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
น้ำหนักเริ่มต้น (ก.)	2.90±0.04	2.89±0.06	2.89±0.05	2.88±0.05	2.92±0.03	2.87±0.05
น้ำหนักสุดท้าย (ก.)	65.56±1.47^{a}	65.38±1.35^{a}	65.02±1.78^{a}	64.64±2.10^{a}	63.67±1.35^{a}	60.66±1.96^{b}
ความยาวเริ่มต้น (ซม.)	6.04±0.24	6.06±0.31	6.01±0.24	6.11±0.27	6.07±0.28	6.10±0.31
ความยาวสุดท้าย (ซม.)	17.08±0.51	16.34±1.13	15.57±4.83	15.72±3.70	17.28±1.44	15.78±4.89
การเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	3.47±0.03^{a}	3.46±0.02^{a}	3.46±0.01^{a}	3.45±0.04^{a}	3.42±0.04^{ab}	3.39±0.02^{b}
อัตราการกิน (% น.น./วัน)	2.70±0.12	2.79±0.08	2.90±0.06	2.96±0.25	2.86±0.13	2.87±0.15
อัตราแลกเนื้อ	0.86±0.03	0.89±0.02	0.92±0.02	0.95±0.07	0.94±0.06	0.97±0.07
ประสิทธิภาพโปรตีน	3.36±0.14^{ab}	3.56±0.10^{a}	2.98±0.20^{b}	2.94±0.13^{b}	3.55±0.44^{a}	3.36±0.20^{ab}
การสะสมโปรตีน (%)	45.89±1.88	44.45±1.21	42.32±2.77	40.12±1.76	40.28±4.99	38.87±7.95
การขับทิ้งไนโตรเจน (ก./กก. ปลา)	9.65±0.77	9.30±0.49	11.69±1.33	12.30±0.93	10.23±2.09	10.13±1.26
อัตรารอดตาย (%)	88.89±3.85	84.44±7.70	88.89±7.70	86.67±6.67	80.00±6.67	82.22±3.85

ภาษาอังกฤษตัวยกที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (X±SD)

	อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6					
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
ทางกายภาพ						
ดัชนีความอ้วน	1.46±0.03^{a}	1.46±0.05^{a}	1.38±0.04^{b}	1.40±0.07^{b}	1.35±0.04^{b}	1.31±0.04^{c}
เนื้อ (%)	41.68±1.31	40.81±1.46	42.27±1.11	41.72±2.39	41.40±3.12	40.62±2.44
ตับ (%)	2.34±0.46	2.30±0.33	2.26±0.16	2.25±0.28	2.12±0.26	2.08±0.15
อวัยวะภายใน (%)	5.44±0.34^{b}	5.99±0.37^{a}	6.04±0.35^{a}	6.14±0.39^{a}	6.19±0.16^{a}	6.26±0.31^{a}
ทางเคมี						
โปรตีน (%น.น. แห้ง)	59.38±0.74^{c}	61.03±0.69^{ab}	59.62±1.07^{bc}	62.35±0.59^{a}	61.16±0.20^{ab}	59.25±1.39^{c}
ไขมัน (% น.น. แห้ง)	19.37±0.32^{a}	17.48±0.11^{d}	17.79±0.37^{cd}	18.58±0.25^{b}	17.74±0.29^{cd}	18.19±0.20^{bc}
เถ้า (% น.น. แห้ง)	17.24±0.10^{a}	15.32±0.06^{d}	16.42±0.17^{b}	14.23±0.17^{e}	15.90±0.05^{c}	17.10±0.05^{a}

ภาษาอังกฤษตัวยกที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ตารางที่ 5 กรดไขมันในตัวปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (% น.น. แห้ง)

	อัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6						ปลาเริ่มต้น
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	
C 14:0	0.13	0.19	0.23	0.26	0.26	0.29	0.14
C 14:1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C 15:0	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.04
C 16:0	1.45	1.47	1.51	1.59	1.56	1.61	0.96
C 16:1	0.25	0.31	0.39	0.42	0.44	0.45	0.23
C 17:0	0.06	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08	0.05
C 17:1	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
C 18:0	0.44	0.46	0.46	0.48	0.47	0.48	0.35
C 18:1n-9 (OLA)	2.14	1.87	1.79	1.77	1.68	1.67	1.18
C 18:2n-6 (LOA)	2.46	1.73	1.38	1.20	0.99	0.87	0.50
C 18:3n-6	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.01
C 18:3n-3 (LNA)	0.19	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.02
C 20:0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.03	0.02
C 20:1n-9	0.07	0.00	0.00	0.10	0.10	0.11	0.04
C 20:3n-6	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
C 20:4n-6 (ARA)	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.02
C 22:0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
C 20:5n-3 (EPA)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C 24:0	0.14	0.22	0.29	0.31	0.34	0.33	0.02
C 22:6n-3 (DHA)	0.74	0.97	1.14	1.15	1.30	1.20	0.06
ปริมาณกรดไขมันรวม	8.31	7.69	7.70	7.80	7.68	7.51	3.65
กรดไขมันอิ่มตัว	2.27	2.48	2.65	2.82	2.84	2.89	1.57
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	6.04	5.21	5.05	4.98	4.84	4.62	2.08
กรดไขมันกลุ่ม n-3	0.95	1.13	1.28	1.28	1.41	1.31	0.09
กรดไขมันกลุ่ม n-3 HUFA	0.76	0.99	1.15	1.17	1.31	1.22	0.07
กรดไขมันกลุ่ม n-6	2.62	1.88	1.56	1.37	1.17	1.05	0.54
อัตราส่วน n-3/n-6	0.36	0.60	0.82	0.93	1.20	1.25	0.17

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของปลาในการทดลองนี้พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีค่าสัดส่วนเนื้อและสัดส่วนตับไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนของกรดไขมัน n-3/n6 เท่ากับ 0.3 และ 0.6 ซึ่งทำให้มีระดับ DHA ในอาหารเท่ากับ 0.82 และ 0.95% ตามลำดับ มีดัชนีความอ้วนสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ (P<0.01) (ตารางที่ 4) โดยดัชนีตับและดัชนีความอ้วนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ในอาหารเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาในส่วนของสัดส่วนอวัยวะภายในพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนของกรดไขมัน n-3/n-6 เท่ากับ 0.3 ซึ่งทำให้มีระดับ DHA ในอาหารเท่ากับ 0.82% มีสัดส่วนอวัยวะภายในต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ (P<0.01) และค่านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ในอาหารเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการสังเกตที่พบว่ามีชั้นไขมันสะสมบริเวณอวัยวะภายใน เช่น ลำไส้และกระเพาะอาหารของปลาเพิ่มขึ้น ซึ่งไขมันดังกล่าวน่าเกี่ยวข้องกับระดับกรดไขมันอิ่มตัวในตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5) เป็นไปได้ว่ากรดไขมันเหล่านี้ไปสะสมที่อวัยวะภายใน เนื่องจากสัดส่วนอวัยวะภายในมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้าในตัวปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณไขมันมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับกรดไขมันจำเป็น DHA ในอาหารเพิ่มขึ้น ดังนั้น จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับผลของชนิดไขมันหรือกรดไขมันต่อการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการสลายไขมันและกรดไขมัน

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวที่สะสมในตัวปลาพบว่ากรดไขมันชนิด 20:0 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ในอาหารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการเพิ่มน้ำมันปลาทูน่าและการลดน้ำมันถั่วเหลืองในสูตรอาหาร เนื่องจากน้ำมันปลาทะเลมีกรดไขมันชนิด 20:0 สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง (9) ขณะเดียวกันปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวชนิด 24:0 ในตัวปลาเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากทั้งๆ ที่มีอยู่ในอาหารน้อย ทั้งนี้ ปลากะพงขาวน่าจะสามารถเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวอื่นๆ มาเป็นกรดไขมันชนิดนี้ได้ดีโดยเฉพาะกรดไขมันชนิด 22:0 เนื่องจากมีการสะสมในร่างกายต่ำและปริมาณค่อนข้างคงที่ ทั้งๆ ที่ในอาหารมีกรดไขมันชนิดนี้สูงกว่ากรดไขมันชนิด 24:0 มาก การทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาเกี่ยวกับการแทนที่น้ำมันปลาด้วยน้ำมันพืชในปลาเขตร้อนหลายชนิดที่แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันปลาในอัตราที่สูงขึ้นทำให้มีการสะสมกรดไขมันอิ่มตัวเหล่านี้เพิ่มขึ้นเช่นกัน อาทิ เช่น ปลาดุกแอฟริกัน (31) ปลานิลลูกผสม (32) และปลาเฉา (33) และการทดลองนี้ยังพบว่าการเพิ่มน้ำมันปลาทูน่าและลดน้ำมันถั่วเหลืองในสูตรอาหารทำให้มีกรดไขมันชนิด Oleic acid (OLA, 18:1n-9), Linoleic acid (LOA, 18:2n-6) และ LNA ในตัวปลาลดลง ในทางตรงข้ามปริมาณกรดไขมันชนิด ARA, EPA และ DHA เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการแทนที่น้ำมันปลาด้วยน้ำมันพืชในปลาหลายชนิด เช่น การแทนที่ด้วยน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเรปสีด/คาโนล่า น้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชหลายชนิดผสมกัน (5) แม้มีความเป็นไปได้ว่าปลาอาจเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้นหากอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ในอาหารมีค่าต่ำกว่า 0.3 และ 0.82% ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่ทำให้ปลากะพงขาวในการทดลองนี้เจริญเติบโตดีที่สุด แต่อาจส่งผลให้ปลามีดัชนีความอ้วนและปริมาณไขมันในตัวปลามากขึ้นซึ่งทั้งสองลักษณะไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (34) และการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงดัชนีความอ้วนและปริมาณไขมันในตัวปลาให้ดีขึ้นได้โดยการเพิ่มระดับ DHA ในอาหารให้สูงขึ้นแต่ไม่ควรมีค่าเกิน 1.17% เนื่องจากมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา

4. สรุป

การทดลองนี้สรุปได้ว่าอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่สามารถผลิตเชิงพาณิชย์ได้ (Commercially practical diet) ควรมีค่าไม่เกิน 0.3/0.82% แต่หากพิจารณาถึงดัชนีความอ้วนและไขมันที่สะสมในร่างกายควรเพิ่มอัตราส่วนกรดไขมัน n-3/n-6 และระดับ DHA ในอาหารขึ้นอีก แต่ไม่ควรเกิน 1.5/1.17% เนื่องจากระดับที่สูงกว่านี้ทำให้ปลาเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทั้งภาคสนามและห้องปฏิบัติการที่ช่วยเหลือในการทำการทดลอง และขอขอบพระคุณ ดร. สุพิศ ทองรอด อดีตผู้อำนวยการสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งที่ให้ความรู้เกี่ยวกับอาหารสัตว์น้ำ

6. เอกสารอ้างอิง

(1) Sire ME, Luton C, Vernier JN. New views on intestinal absorption of lipids in teleostean fishes: an ultrastructural and biochemical study in the rainbow trout. J Lipid Res. 1981;22: 81-94.

(2) Sargent JR, Tocher DR, Bell JG. The lipids. In: Halver JE, Hardy RW, editors. Fish nutrition. San Diego, USA: Academic Press, Elsivier; 2002. p. 181-257.

(3) Castel JD, Sinnhuber RO, Wales JH, Lee DJ. Essential fatty acids in diet of rainbow trout (*Salmo gairfneri*): Metabolism and fatty acid composition. J Nutr. 1972;102: 93-100.

(4) Takeuchi T, Watanabe T. Effect of excessive amounts of essential fatty acids on growth of rainbow trout. Bull Jpn Soc Sci Fish. 1979;45: 1517-1519.

(5) Turchini GM, Torstensen BE, Ng WK. Fish oil replacement in finfish nutrition. Rev Aquaculture. 2009;1: 10-57.

(6) Kanazawa A, Teshima S, Sakamoto M, Awal AA. Requirements of *Tilapia zillii* of essential fatty acids. Bull Jpn Soc Sci Fish. 1980;37: 211-215.

(7) Stickney RR, Hardy RW. Lipid requirements of some water fishes. Aquaculture. 1989;79: 145-156.

(8) Stickney RR, Andrews JW. Effect of dietary lipid on growth, food conversion, lipid and fatty acid composition of channel catfish. J Nutr. 1972;102: 249-258.

(9) Glencross B. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. Rev Aquaculture. 2009;1: 71-124.

(10) Wanakowat J, Boonyaratpalin M, Watanabe T. Essential fatty acid requirement of juvenile seabass. In: Kaushik SJ, Luquet P, editors. Fish nutrition in practice. Paris, France: INTRA; 1993. p. 807-817.

(11) Boonyaratpalin M. Nutrient requirement of marine food fish cultured in Southeast Asia. Aquaculture. 1997;151: 283-313.

(12) Williams KC, Barlow CG. Dietary requirement and optimal feeding practices for barramundi (*Lates calcarifer*). Research report. Canberra, Australia: Fisheries R&D Corporation; 1999.

(13) Fenucci JL, Lawrence AL, Zein-Eldin ZP. The effect of fatty acid and shrimp meal composition of prepared diets on growth of juvenile shrimp, *Penaeus stylirotris*. World Maricult Soc. 1981;12(1): 315-324.

(14) Glencross B, Smith DM. Comparison on triacylglycerols, esterified and free fatty acids as neutral lipid sources in the diet of prawn, *Penaeus monodon*. Aquaculture. 1997;159: 67-85.

(15) Glencross B, Rutherford N. A determination of the quantitative requirements for docosahexaenoic cid for juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). Aquac Nutr. 2011 Apr;17: 536-548. Epub 2010 Sep 14.

(16) Millamena OM. Review of SEAFDEC/AQD fish nutrition and feed development research. In: Santiago CB, Coloso RM, Millamena OM, Borlongan IG, editors. Feeds for small-scale aquaculture. Proceedings of the national seminar-workshop on fish nutrition and feeds; 1994 Jun 1-2; Iloilo, Philippines: SEAFDEC Aquaculture Department; 1996. p. 52-63.

(17) Glencross B. The nutritional management of barramundi, *Lates calcarifer*- a review. Aquac Nutr. 2006; 12(4): 291-309.

(18) AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18th edn. Gaithersburg, USA: AOAC; 2005.

(19) Vielma J, Ruohonen K, Peisker M. Dephytinization of two soy proteins increases phosphorus and protein utilization by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture. 2002;204: 145-156.

(20) Nash RDM, Valencia AH, Geffen AJ. The origin of Fulton's condition factor-setting the record straight. Fisheries. 2006;31(5): 236-238.

(21) Teruya T, Suenaga K, Koyama T, Nakano Y, Uemura D. Arachidonic acid and a–linolenic acid, feeding attractants for the crown-of-thorns sea star *Acanthaster planci,* from the sea urchin *Toxopneustes pileolus*. J Exp Mar Biol Ecol. 2001;266: 123-134.

(22) Kun-Art A, Paibulkichakul B, Paibulkichakul C. Effect of protein and lipid feedstuff on palatability of *Babylonia areolata* . KKU Res J. 2010;15(11): 1061-1066. Thai.

(23) Boonyaratpalin M, Suraneiranat P, Tunpibal T. Replacement of fishmeal with various types of soybean products in the diets for the *Asian seabass*, *Lates calcarifer*. Aquaculture. 1998;161: 67-78.

(24) Williams KC. Fishmeal replacement in aquaculture feeds for barramundi. Research report. Canberra, Australia: Fisheries R&D Corporation; 1998.

(25) Kaushik SJ, Coves D, Dutto G, Blanc D. Almost total replacement of fishmeal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture. 2004;230: 391-404.

(26) Tu WC, Mühlhäusler BS, James MJ, Stone DAJ, Gibson RA. Dietary alpha-linolenic acid does not enhance accumulation of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in barramundi (*Lates calcarifer*). Comp Biochem Physiol-B. 2013;164: 29-37.

(27) Tocher DR, Sargent JR. Effects of temperature on the incorporation into phospholipid classes and metabolism via desaturation of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in fish cells in culture. Lipids. 1990;25: 435-442.

(28) Raso S, Anderson TA. Effects of dietary fish oil replacement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). Aquac Res. 2003;34: 813-819.

(29) Francis G, Makkar HPS, Becker K. Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish. Aquaculture. 2001;199: 197-227.

(30) NRC. Nutrient requirements of fish. Washington DC, USA: National Academy Press; 1993.

(31) Ng WK, Lim PK, Boey PL. Dietary lipid and palm oil source affects growth, fatty acid composition and muscle α-tocopherol concentration of African catfish, *Clarias gariepinus*. Aquaculture. 2003;215: 229-243.

(32) Bahurmiz OM, Ng WK. 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. 2007;262: 382-392.

(33) Du ZY, Clouet P, Huang LM, Degrace P, Zheng WH, He JG, et al. Utilization of different dietary lipid sources at high level in herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): mechanism related to hepatic fatty acid oxidation. Aquac Nutri. 2008;14: 77-92.

(34) Plaipetch P, Jitrhlang I, Tamtin M, Chaikul SL, Kuekaew J, Muengyao P, et al. Comparison on growth performance and meat quality of sea bass fed with trash fish and pellets. Proceedings of 46th Kasetsart University annual conference: Fisheries: 2008 Jan 29-Feb 2; Bangkok, Thailand; 2008. p. 156-166. Thai.