นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลของหัวกุ้งป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและสีของปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

นพวรรณ ฉิ้มสังข์ [1] นิฟารีซา เจ๊ะเล๊าะ [2] พรพิมล พิมลรัตน์ [2] และ ชุติมา ตันติกิตติ [3]

Abstract

Chimsung, N.[1], Chealoh, N.[1], Pimolrat, P.[1] and Tantikitti, C[2]

Effects of shrimp head meal in the diets on growth, feed efficiency and pigmentation of sex-reversed red tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2006, 28(5) : 951-964

Shrimp head meal (SHM) was used to replace fish meal as a protein source in practical diets for sex-reversed red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) at 0, 25, 50, 75 and 100% of fish meal protein or 0, 6.92, 13.84, 20.76 and 27.68% by weight of diet respectively. Catfish feed that contained protein content 37.22±0.10% was included as a reference diet. The experimental diets were fed to the fish with mean initial weight of 3.13±0.05 g for 8 weeks in 70 l aquaria. The results showed that weight gain and specific growth

[1]School of Agricultural Technology, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80160 Thailand. [2]Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand.

[1]วท.ม.(วาริชศาสตร์) [2]วท.บ.(เทคโนโลยีการผลิตสัตว์น้ำ) สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160 [3]Ph.D. (Aquatic Animal Nutrition) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail : cnoppawa@wu.ac.th

รับต้นฉบับ 21 พฤศจิกายน 2548 รับลงพิมพ์ 8 มีนาคม 2549

rate of fish fed 50% of fishmeal protein replacement or diet 3 was not significant by different from those of fish on control diet ($p \geq 0.05$). The data of feed intake, feed conversion ratio and productive protein value of fish fed diet 3 were equal to those fed control diet ($p \geq 0.05$). The lowest growth rate and feed efficiency showed on fish fed 100% of fishmeal protein replacement. The production cost of fish fed diet 3 was equal to those fed the control diet and the reference diet ($p \geq 0.05$). Total carotenoid content in fish skin was significantly highest ($p<0.05$) in fish fed 100% of fishmeal protein replacement diet. The result indicates that the use of SHM at the level of 50% replacement or 13.84% by weight of diet is a potential protein source in sex-reversed red tilapia diet.

Key words : shrimp head meal, fish meal replacement, sex-reversed red tilapia

บทคัดย่อ

นพวรรณ ฉิ้มสังข์ นิฟารีซา เจ๊ะเล๊าะ พรพิมล พิมลรัตน์ และ ชุติมา ตันติกิตติ

ผลของหัวกุ้งป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและสีของปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2549 28(5) : 951-964

การทดลองเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 3.13±0.05 กรัม ด้วยอาหารที่ใช้หัวกุ้งป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่น เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีอาหารทดลองทั้งหมด 6 สูตร สูตรที่ 1-5 เป็นอาหารที่มีหัวกุ้งป่น 0, 25, 50, 75 และ 100% ของปริมาณโปรตีนจากปลาป่น หรือ 0, 6.92, 13.84, 20.76 และ 27.68% ของน้ำหนักอาหาร ตามลำดับ อาหารสูตรที่ 6 เป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก ที่มีโปรตีน 37.22±0.10% ของน้ำหนักอาหาร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ซึ่งมีโปรตีนจากหัวกุ้งป่นทดแทนโปรตีนจากปลาป่น 50% มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีปริมาณปลาป่นสูงสุด เช่นเดียวกับค่าน้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการแลกเนื้อและโปรตีนที่ทำไปใช้ประโยชน์ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนอาหารต่อผลผลิตของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 กับอาหารสูตรที่ 1 และ 6 พบว่ามีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารที่มีหัวกุ้งป่นสูงสุดมีค่าการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำสุด แต่มีค่าปริมาณคาโรทีนอยด์รวมของผิวหนังปลาสูงสุด และแตกต่างทางสถิติปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ($p<0.05$) ผลการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า สามารถใช้หัวกุ้งป่นเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศได้ 50% ของปริมาณโปรตีนจากปลาป่น หรือ 13.84% ของน้ำหนักอาหาร โดยส่งผลให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและต้นทุนอาหารต่อผลผลิตดีเทียบเท่ากับอาหารที่มีปลาป่นสูงสุดและอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก

ในท้องถิ่นภาคใต้ของประเทศไทย มีโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลจำนวนมาก โดยเฉพาะโรงงานแปรรูปกุ้งทะเลแช่เยือกแข็ง โดยหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตแล้ว จะมีส่วนของหัวกุ้งซึ่งเป็นของเหลือใช้จากการแปรรูปประมาณ 34-45% ของวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูป (วรรณา และคณะ, 2543) การนำหัวกุ้งมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์น้ำและยังเป็นแนทางการใช้ประโยชน์ของเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำอีกด้วย ส่วนประกอบทางโภชนาการของหัวกุ้งป่นขึ้นกับแหล่งที่มาและวิธีการผลิต ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของหัวกุ้งป่นที่ผ่านกระบวนการอบ พบว่ามีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า 4.4, 46.0, 9.8 และ 26.1% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยไคติน (chitin) 14.3% สารสีได้แก่ แอสตาแซนทิน (astaxanthin) และแคนตาแซนทิน (cantaxanthin) 7 และ 27 มก./กก.ตามลำดับ (Hertrampf

and Piedad-Pascual, 2000) ทั้งนี้หัวกุ้งป่นยังอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า 3 (n-3 fatty acids) โคเลสเตอรอล (cholesterol) (Lovell, 1998) รวมถึงมีสมบัติในการดึงดูดการกินอาหารของสัตว์น้ำ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) จากรายงานของ มะลิ และนันทิยา (2528) ซึ่งศึกษาผลของแหล่งสารสีจากสาหร่ายสไปรูไลน่า กลีบดอกดาวเรืองพันธุ์ทอริดอร์ หัวและเปลือกกุ้งสด และขมิ้น ต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนสีของปลานิลแดง พบว่าหัวและเปลือกกุ้งสดมีผลในการเร่งอัตราการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และสูตรที่ผสมขมิ้นสดมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ส่วนลักษณะสีบนลำตัวปลาพบว่าอาหารที่ผสมสาหร่ายสไปรูไลน่าและกลีบดอกดาวเรืองจะให้สีเข้มเฉลี่ยสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ส่วนอาหารที่ผสมหัวกุ้งสดพบว่า สีจะเริ่มเด่นชัดในสัปดาห์ที่ 4 และจะค่อยๆ มีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อยๆ

ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น หัวกุ้งจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลานิลแดง ซึ่งเป็นปลาลูกผสมระหว่างปลานิล *Oreochromis niloticus* และปลาหมอเทศ *O. mossambicus* (มานพ และคณะ, 2530 อ้างโดย สมพงษ์, 2543) ปลานิลแดงถือว่าได้ว่าเป็นปลาน้ำจืดที่ได้รับความนิยมในการบริโภค เนื่องจากเนื้อที่มันและหวานกว่าปลานิลธรรมดา และลักษณะสีตัวที่มีสีแดงเป็นที่สนใจทำให้ดูสวยงามและน่ารับประทานมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันอาหารสำเร็จรูปที่เกษตรกรนิยมใช้เลี้ยงปลามีราคาแพง และค่าอาหารคิดเป็นต้นทุนการเลี้ยงมากกว่า 60% ของต้นทุนทั้งหมด (พรรณศรี และ อภิรัตนา, 2528; พินิจ และคณะ, 2543) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของหัวกุ้งในอาหารปลานิลแดงที่ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารและสีสันของปลานิลแดง รวมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารที่ใช้หัวกุ้งระดับต่างๆ กับอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก ซึ่งเป็นอาหารที่เกษตรกรนิยมใช้ในการเลี้ยงปลานิลแดง เนื่องจากปลามีการเจริญเติบโตดีกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลานิล (ข้อมูลจากการสอบถามเกษตรกร) ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนอาหารและการใช้ประโยชน์ของเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมปลาทดลอง

นำลูกปลานิลแดงแปลงเพศ น้ำหนักเฉลี่ย 2 กรัม มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 2 ลบ.เมตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยให้กินอาหารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารทดลอง จากนั้นคัดปลาใส่ตู้ทดลองขนาด 75×40×41 ซม. ปริมาตรน้ำ 70 ลิตร จำนวน 25 ตัว/ตู้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design, CRD) มีทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของตู้และอาหารทดลองเป็นเวลา 7 วัน หลังจากปลาคุ้นเคยกับสภาพตู้และอาหารทดลองแล้ว คัดปลาให้มีขนาดใกล้เคียงกัน 20 ตัว/ตู้ ชั่งน้ำหนักปลาเริ่มต้น ด้วยวิธีการแทนที่น้ำ โดยก่อนชั่งทำการสลบปลาด้วยน้ำมันกานพลู 0.05 มล./น้ำ 1 ลิตร

2. การเตรียมอาหารทดลอง

หัวกุ้งป่นที่ใช้ในอาหารทดลองเตรียมโดยนำหัวกุ้งสดจากโรงงานลีไทยอาหารแช่แข็ง จ.นครศรีธรรมราช (ระหว่างการขนส่งแช่เย็นด้วยน้ำแข็งเพื่อรักษาคุณภาพ) อบที่อุณหภูมิ 60ºC เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้ละเอียด และสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเช่นเดียวกับวัสดุอาหารที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารทดลองตามวิธีการของ AOAC (1990) ก่อนนำมาใช้เตรียมอาหารทดลอง (Table 1)

ในการผลิตอาหารทดลองสูตรที่ 1-5 นั้น คำนวณสูตรอาหารให้มีระดับโปรตีน และไขมัน ประมาณ 30% (NRC, 1993) และ 10% ของน้ำหนักอาหาร (Corraze, 2001) ใกล้เคียงกันทุกชุดการทดลอง แต่ให้มีระดับหัวกุ้งป่นแตกต่างกัน โดยการปรับลดปริมาณของปลาป่นในสูตรอาหารที่มีปริมาณโปรตีนจากหัวกุ้งเพิ่มขึ้นและอาหารสูตรที่ 6 เป็นอาหารอ้างอิง คือ อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาดุกขนาดเล็ก (โปรตีน ไม่น้อยกว่า 32% ไขมัน ไม่น้อยกว่า 4% กากไม่มากกว่า 6% และความชื้นไม่มากกว่า 12%)

Table 1. Proximate analysis of feed ingredients (% dry matter)[1]

Ingredient	moisture	ash	protein	lipid	fiber
Fish meal	4.70±0.03	30.50±0.33	63.14±1.12	7.30±0.07	0.99±0.07
Shrimp head meal	4.60±0.14	24.46±0.18	56.95±1.29	4.51±0.11	13.18±0.19
Soybean meal	7.41±0.02	5.76±0.16	48.18±0.03	19.28±1.14	4.30±0.20
Palm kernel meal	5.25±0.14	3.56±1.26	18.27±0.94	12.05±0.10	12.56±0.22
Rice bran	8.58±0.02	12.97±0.22	15.68±0.20	15.07±0.19	5.22±0.13
Cassava meal	9.63±0.10	4.08±0.27	2.54±0.15	0.54±0.04	1.30±0.18

[1]Mean ± standard deviation of three replications

Table 2. Composition of experimental diets (g/kg diet)

Ingredient	Diet (Ratio of fish meal protein : shrimp head meal protein)				
	1 (100:0)	2 (75:25)	3 (50:50)	4 (25:75)	5 (0:100)
Fish meal	250	187.5	125	62.5	0
Shrimp head meal	0	69.2	138.4	207.6	276.8
Soybean meal	280	280	280	280	280
Palm kernel meal	150	150	150	150	150
Rice bran	100	100	100	100	100
Cassava meal	180	173.3	166.6	159.9	153.2
Cr_2O_3	10	10	10	10	10
Mineral premix[1]	20	20	20	20	20
Vitamin premix[2]	10	10	10	10	10

[1] Mineral premix (g/kg diet): NaCl 0.25; MgO 1.1; KCl 4; $Ca(H_2PO_4)_2$ 9; $FeSO_4$ 0.72; Calcium lactrate 0.88; $ZnSO_4.7H_2O$ 0.088; $MnSO_4.7H_2O$ 0.04; $CuSO_4.5H_2O$ 0.088; $CoSO_4$ 0.0002; Kl 0.0008; cellulose 1.183

[2] Vitamin premix (mg/kg diet): Thiamine (B_1) 10; Riboflavin (B_2) 20; Pyridoxine (B_6) 10; Cobalamin (B_{12}) 2; Retinal (A) 4; Choleccalciferal (D_3) 0.4; Philloquinone (K_1) 80; Folic acid 5; Calcium pantothenate 40; Inosital 400; Niacin 150; Tocopherol (E) 60; Choline 6,000; Ascorbic acid (C) 500; Cellulose 2,718.6

วิธีการเตรียมอาหารทดลองทำโดยชั่งวัตถุดิบตามสูตรที่คำนวณไว้ (Table 2) ผสมวัตถุดิบอาหารด้วยเครื่องผสมอาหาร Hobart รุ่น A-200T จนเข้ากันดีแล้วจึงเติมมันเส้นต้มสุกซึ่งใช้เป็นตัวประสาน (เตรียมโดยนำมันเส้น 60 กรัม/อาหาร 1 กก. ละลายน้ำ 500 มล. และตั้งไฟให้สุก) เมื่อผสมเข้ากันดีจึงนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร Hobart รุ่น A-200T ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. นำอาหารที่เตรียมเสร็จแล้วอบที่อุณหภูมิ 60ºC นาน 24 ชั่วโมง บรรจุถุงพลาสติกแล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4ºC และตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการของอาหารแต่ละสูตร ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990)

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การเก็บข้อมูล

1.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะที่แสดงออกภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตลักษณะผิดปกติภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การตกเลือด และการเกิด

บาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆ รวมทั้งสังเกตพฤติกรรมที่ผิดปกติในปลาแต่ละหน่วยทดลอง ใช้ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันโรคตามสภาพของปลา หลังจากการให้อาหารมื้อเย็น 2 ชั่วโมง ทำการดูดตะกอนทำความสะอาดตู้ปลา และเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ของปริมาตรน้ำในตู้ทุกวัน เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมตลอดการทดลอง

1.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโตและการรอดตายของปลา

การชั่งน้ำหนักปลาดำเนินการทุก 2 สัปดาห์ โดยการชั่งด้วยวิธีการแทนที่น้ำ ซึ่งก่อนชั่งทำการสลบปลาด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น 0.05 มล./น้ำ 1 ลิตร แล้วชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ก่อนวันที่ชั่งน้ำหนักปลางดให้อาหารปลาเป็นเวลา 1 มื้อ) นับจำนวนปลาที่เหลืออยู่ สังเกตลักษณะอาการปลาตลอดการทดลองพร้อมทั้งจดบันทึกไว้จนสิ้นสุดการทดลอง

1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหาร

ทำการเก็บมูลปลาด้วยวิธีการเก็บรวบรวมมูลในน้ำหลังจากให้อาหารมื้อเย็น 15 ชั่วโมง (Spyridakis *et al*., 1989) โดยให้อาหารมื้อเย็นเวลา 17.00 น. และหลังจากนั้น 2 ชั่วโมง ทำการดูดเศษอาหารและตะกอนพร้อมเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% และเก็บรวบรวมมูลปลาในเวลา 8.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยการใช้สายพลาสติกขนาดเล็กดูดมูลปลาออกจากตู้แล้วกรองด้วยถุงกรองที่ผูกติดไว้กับสายยางอีกด้าน และนำไปแช่แข็ง เก็บรวบรวมมูลในสัปดาห์ที่ 6-8 เป็นเวลา 10 วัน จนได้ตัวอย่างเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ทำมูลปลาให้แห้งด้วยวิธีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60ºC นาน 48 ชั่วโมง บดให้ละเอียดเก็บไว้ในตู้แช่ -20ºC

นำตัวอย่างมูลปลาอบแห้ง วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน (crude protein) ตามวิธีการ AOAC (1990) และปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและในมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966) คำนวณหาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนโดยใช้สมการ (De Silva and Anderson, 1995)

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (%) =

$$100-\left\{\frac{\text{ปริมาณโปรตีนในอาหารที่ปลากิน} \times \text{ปริมาณ } Cr_2O_3 \text{ ในมูล}}{\text{ปริมาณโปรตีนในมูลปลา} \times \text{ปริมาณ } Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}\right\} \times 100$$

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาโรทีนอยด์รวม (total carotenoid)

วิเคราะห์ปริมาณคาโรทีนอยด์รวม โดยสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองแต่ละสูตรบดให้ละเอียด สำหรับตัวอย่างปลาสุ่มเก็บตัวอย่างปลาเมื่อเริ่มต้นทดลองและสิ้นสุดการทดลองจำนวน 6 ตัว/ชุดการทดลอง (แช่ตัวอย่างปลาลงในลังที่บรรจุน้ำแข็ง) ลอกเฉพาะหนังส่วนที่เหนือเส้นข้างลำตัว (lateral line) เริ่มจากก้านครีบหลังอันแรกจนถึงคอดหาง บดตัวอย่างด้วยโกร่งให้ละเอียด (ถ้าตัวอย่างมีความชื้นสูงเติม Na_2SO_4 2 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง) นำไปสกัดสารสีแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความเข้มแสง 400 ถึง 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ดัดแปลงจาก Bowen *et al*., 2002)

1.5 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

สุ่มเก็บตัวอย่างปลาเมื่อเริ่มต้นทดลอง จำนวน 15 ตัว และสิ้นสุดการทดลองจำนวน 3 ตัว/ตู้ วิเคราะห์ความชื้นในตัวปลา โดยวิธีการอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ตามวิธีการ AOAC (1990) สุ่มเก็บ 30 ตัวเมื่อเริ่มทดลอง และ 5 ตัว/ตู้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำปลาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60ºC เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างปลาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหารอีกครั้งก่อนนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการของ AOAC (1990)

1.6 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ในขณะทำการทดลอง มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในตู้ทดลองโดยวัดอุณหภูมิทุกวัน และทุก 2 สัปดาห์ ทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลาย โดยใช้ DO meter ยี่ห้อ WTW รุ่น Oxi 330i/SET และใช้ขวดเก็บตัวอย่างขนาด 1 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำก่อนเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อนำไปวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยใช้ pH meter ยี่ห้อ HACH รุ่น Sension 3 วิเคราะห์ค่าความเป็นด่างและแอมโมเนียรวมตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992)

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{อัตรารอดตาย (survival rate, \%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น}} \times 100$$

คำนวณอัตราการเจริญเติบโต โดยพิจารณาจาก

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, กรัม/ตัว)

= น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง-น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มการทดลอง

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR %/ วัน) (Bureau *et al*., 2002)

$$= \frac{(\ln \text{ น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{ น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง})}{\text{เวลา (วัน)}} \times 100$$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate, FCR)

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) (De Silva and Anderson, 1995)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}$$

โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (productive protein value, PPV %) (Hepher, 1988)

$$= \frac{(\text{โปรตีนตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{โปรตีนตัวปลาเมื่อเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง}} \times 100$$

การศึกษาต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตอาหาร/ผลผลิตปลานิล (unit feeding cost) โดยสมการ

$$\text{ต้นทุนอาหารต่อผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กก.)} \times \text{ราคาวัตถุดิบอาหาร (บาท)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กก.)}} \times 100$$

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลการทดลอง

1. ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลองสูตรต่างๆ แสดงได้ดัง Table 3 อาหารสูตรที่ 1-5 มีค่าโปรตีนและไขมันใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้นตามปริมาณหัวกุ้งป่น ในขณะที่ปริมาณเถ้ามีค่าลดลง ส่วนอาหารสูตรที่ 6 มีค่าโปรตีนสูงสุด

Table 3. Proximate analysis of experimental diets (%as fed basis)[1]

Diet	Moisture	Ash	Protein	Lipid	Fiber
1	3.00±0.27	14.90±0.04	32.95±0.14	11.01±0.23	4.97±0.04
2	2.83±0.05	14.80±0.06	33.22±0.21	10.35±0.20	5.56±0.09
3	2.73±0.06	14.27±0.16	33.41±0.21	9.30±0.18	6.74±0.68
4	2.72±0.10	13.73±0.08	33.59±0.40	10.30±0.20	7.74±1.01
5	2.78±0.21	13.23±0.07	33.80±0.21	9.89±0.25	7.84±0.18
6	7.11±0.06	9.87±0.14	37.22±0.10	7.36±0.15	4.30±0.25

[1]Mean ± standard deviation of three replications

Table 4. Initial weight, final weight, weight gain, specific growth rate (SGR) and survival rate of sex- reversed red tilapia fed the experimental diets

Diet	Initial weight[1] (g)	Final weight[1] (g)	Weight gain[1] (g)	SGR[1] (%/day)	Survival rate[1] (%)
1	3.09±0.13 [a]	36.17±2.45 [a]	33.08±2.34 [a]	4.39±0.07 [a]	95.00±0.00 [a]
2	3.13±0.18 [a]	28.82±2.15 [bc]	25.69±2.03 [bc]	3.96±0.10 [bc]	91.67±14.43 [a]
3	3.20±0.16 [a]	32.78±1.88 [ab]	29.58±1.72 [ab]	4.16±0.03 [ab]	96.67±2.89 [a]
4	3.08±0.06 [a]	27.30±3.85 [c]	24.22±3.79 [c]	3.88±0.23 [c]	96.67±5.77 [a]
5	3.19±0.16 [a]	27.16±1.90 [c]	23.97±1.89 [c]	3.82±0.15 [c]	100.00±0.00 [a]
6	3.09±0.11 [a]	29.29±3.13 [bc]	26.20±3.03 [bc]	4.01±0.14 [bc]	88.33±16.07 [a]

[1]Mean ± standard deviation of three replications
Means within each column not sharing a common superscript are significantly different ($p<0.05$)

2. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ

ผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร ไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก และปลาทุกตัวมีพฤติกรรมปกติ สุขภาพแข็งแรงตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตามพบว่า ปลามีอัตราการรอดตายอยู่ในช่วง 88.33±16.07 ถึง 100.00±0.00% (Table 4) ซึ่งการตายของปลาเกิดจากการกัดกันเองและพฤติกรรมการกระโดดของปลานิลแดงออกนอกตู้ ทำให้ปลากระโดดออกมาตายไม่ได้เกิดจากอาหารทดลองแต่อย่างใด

3. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย ของปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตรเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ แสดงใน Table 4 ปลาที่ได้รับอาหารสูตรอาหารที่ 1 มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด โดยมีค่า 33.08±2.34 กรัม/ตัว และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 4, 5 และ 6 แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 3.82±0.15 ถึง 4.39±0.07 % / วัน โดยปลานิลแดงที่ได้รับอาหารสูตรอาหารที่ 1 มีค่าสูงที่สุด คือ 4.39±0.07 % / วัน รองลงมาคือ สูตรที่ 3, 6, 2, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะน้อยที่สุด 3.82±0.15 % / วัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างค่าเฉลี่ยให้ผลเช่นเดียวกับค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

4. องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลานิลแดงก่อน และหลังจากที่ได้รับอาหารที่มีหัวกุ้งป่น เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แสดงใน Table 5 โดยมีระดับโปรตีน เถ้า ไขมัน และความชื้น มีค่าใกล้เคียงกันทุกสูตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของตัวปลาก่อนการทดลอง จะพบว่าเมื่อเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ในตัวปลาจะมีเถ้าและโปรตีนลดลง แต่ระดับไขมันจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

5. น้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์

จากข้อมูลใน Table 6 พบว่า ปลานิลแดงที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 กินอาหารน้อยที่สุด 25.95±3.11 กรัม/ตัว และมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1-5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 3 กินอาหารมากที่สุด คือ 41.99±1.97 กรัม/ตัว ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.99±0.02 ถึง 1.62±0.15 ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรอาหารที่ 6 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 1.78±0.16 ถึง 2.52±0.06 โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 6 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่มีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ($p<0.05$) ส่วนค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุกมีค่าสูงสุดคือ 44.30±1.00% สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารผสมหัวกุ้งป่นทุกสูตร ($p<0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งใช้โปรตีนจากหัวกุ้งป่นทดแทนโปรตีนจากปลาป่นไม่เกิน 50% มีค่าโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ($p\geq0.05$)

6. ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลานิลแดง

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลองที่มีหัวกุ้งป่นในอัตราส่วนต่างๆ กัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แสดงใน Table 7 พบว่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 95.48±0.03 ถึง 96.79±0.06 ซึ่งอาหารสูตรที่ 5 มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงที่สุด และมีค่าลดลงในอาหารสูตรที่ 2, 4, 3 และ 1 ตามลำดับ

7. ปริมาณคาโรทีนอยด์รวมในอาหารและผิวหนังของปลา

จากข้อมูลใน Table 8 ปริมาณคาโรทีนอยด์รวมในอาหารสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเท่ากับ 21.47±4.03, 26.79±7.15, 31.31±0.52 และ 36.72±3.35 มก./กก.

Table 5. Chemical composition of sex- reversed red tilapia carcass (%dry matter basis)[1]

Diet	Moisture (%wet sample)	Ash	Protein	Lipid
initial	76.25±1.23	18.26±0.37	63.29±0.06	13.35±0.13
1	73.65±1.72[a]	16.28±0.10[a]	57.78±0.26[b]	25.78±1.89[ab]
2	70.87±0.58[b]	14.01±0.22[b]	59.53±0.82[ab]	25.41±0.10[b]
3	72.27±1.27[ab]	13.97±0.54[b]	58.12±0.51[b]	24.80±0.47[b]
4	72.18±0.34[ab]	13.40±0.25[b]	59.21±0.18[ab]	27.35±0.40[a]
5	72.85±0.70[ab]	13.93±0.15[b]	59.98±0.82[a]	25.97±0.16[ab]
6	72.13±1.26[ab]	14.08±0.04[b]	58.56±1.62[ab]	24.42±0.15[b]

[1]Mean ± standard deviation of three replications
Means within each column not sharing a common superscript are significantly different ($p<0.05$)

Table 6. Feed intake (FI), feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PER) and productive protein value (PPV) of sex-reversed red tilapia fed the experimental diets

Diet	FI[1] (g)	FCR[1]	PER[1]	PPV[1] (%)
1	39.68±4.85 [b]	1.21±0.14 [bc]	2.46±0.13 [a]	39.10±4.71 [ab]
2	38.44±3.07 [b]	1.50±0.11 [a]	1.96±0.15 [b]	34.93±2.69 [bc]
3	41.99±1.97 [b]	1.42±0.03 [ab]	2.05±0.05 [b]	33.99±0.84 [bc]
4	36.25±2.56 [b]	1.52±0.18 [a]	1.92±0.21 [b]	32.53±3.60 [c]
5	38.90±4.68 [b]	1.62±0.15 [a]	1.78±0.16 [b]	29.83±2.71 [c]
6	25.95±3.11 [a]	0.99±0.02 [c]	2.52±0.06 [a]	44.30±1.00 [a]

[1]Mean ± standard deviation of three replications
Means within each column not sharing a common superscript are significantly different (p<0.05)

Table 7. Apparent digestibility coefficient of protein of experimental diets [1]

Diet	Apparent digestibility coefficient of protein (%)
1	95.48±0.03 [e]
2	96.17±0.02 [b]
3	95.80±0.07 [d]
4	95.61±0.06 [c]
5	96.79±0.06 [a]

[1]Mean ± standard deviation of three replications
Means within each column not sharing a common superscript are significantly different (p<0.05)

Table 8. Total carotenoid in diets and skin of sex-reversed red tilapia [1]

Diet	Total carotenoid (mg/kg)	
	In diet	Fish skin
1	nd	21.57±5.11 [b]
2	21.47±4.03	23.84±0.96 [b]
3	26.79±7.15	24.32±2.78 [b]
4	31.31±0.52	23.07±1.40 [b]
5	36.72±3.35	31.05±1.30 [a]
6	nd	23.26±0.70 [b]

[1]Mean ± standard deviation of three replications
Means within each column not sharing a common superscript are significantly different (p<0.05)
***initial total carotenoid of fish skin 4.08+0.06 mg/kg**
nd = not detected

ตามลำดับ ส่วนอาหารสูตรที่ 1 และ 6 (อาหารสูตรอ้างอิง) ไม่พบคาโรทีนอยด์รวมในอาหาร หรืออาจมีค่าน้อยมาก ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีการที่ใช้วิเคราะห์ สำหรับคาโรทีนอยด์รวมในตัวปลาที่แล่เอาเฉพาะส่วนหนังปลามาวัด หลังจากการทดลองเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับหัวกุ้งป่นที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่ามีค่าคาโรทีนอยด์รวมเพิ่มขึ้นจากค่าเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ซึ่งระดับคาโรทีนอยด์รวมในตัวปลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 4.08± 0.06 มก./กก. และภายหลังการทดลองโดยให้อาหารแตกต่างกันทั้ง 6 สูตรแล้วพบว่าปริมาณคาโรทีนอยด์รวมในตัวปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 มีปริมาณมากที่สุดคือ 31.05± 1.30 มก./กก. และมีความแตกต่างกับปลานิลแดงที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

8. ราคาอาหารและต้นทุนการผลิต

จากการคำนวณราคาค่าอาหารเฉพาะต้นทุนค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำที่นำมาเป็นส่วนประกอบในอาหารทั้ง 5 สูตร แสดงใน Figure 1 โดยสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของหัวกุ้งป่นเพิ่มขึ้นจะมีราคาอาหารต่ำลง เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตต่อน้ำหนักปลา พบว่า อาหารสูตรที่ 1 มีต้นทุนการผลิตต่อน้ำหนักปลาที่ต่ำสุด คือ 15.86±1.88 บาท/กก. แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับอาหารสูตรที่ 3, 4 และ 5 การใช้อาหารปลาดุกเลี้ยงปลานิลแดงตลอด 8 สัปดาห์ มีต้นทุนการผลิตต่อน้ำหนักปลาสูงที่สุดคือ 19.06±0.42 บาท/กก. และมีค่าสูงกว่าอาหารสูตรที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับอาหารสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 ($p\geq0.05$)

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาเมื่อพิจารณาค่าการเจริญเติบโต พบว่า ปลานิลแดงน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 3.13±0.05 กรัม ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากหัวกุ้งป่นทดแทนโปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 50% หรือ 13.84% ของน้ำหนักอาหาร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโตดีเทียบเท่ากับปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมที่มีปริมาณปลาป่นสูงสุด และไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก โดยสามารถพิจารณาได้จากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ รวมถึงน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ปริมาณหัวกุ้งป่นในอาหารปลานิลแดงที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นระดับที่ใกล้เคียงกับการทดลองของ มะลิ และนันทิยา (2528) ที่ทดลองผสมหัวกุ้งสด 15% ของน้ำหนักอาหาร เลี้ยงปลานิลแดงขนาดเฉลี่ย 7.7-8.3 กรัม นาน 8 สัปดาห์ พบว่าอาหารสูตรที่ผสมหัวกุ้งสด มีผลเร่งการเจริญเติบโตของตัวปลานิลแดงได้ Teledo และคณะ (1987 อ้างโดย El-Sayed, 1999) แนะนำว่าการใช้หัวกุ้งเป็นแหล่งโปรตีนใน

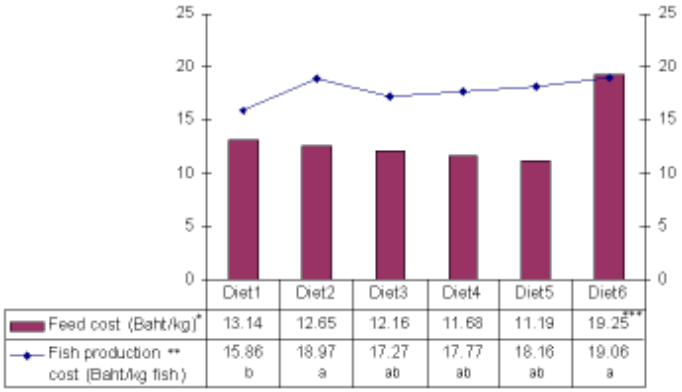

Figure 1. Feed cost and fish production cost
* sum of ingredient cost as per kilogram of diets
** calculation of total feed intake (kg) x feed cost (Baht)/total fish production (kg)
*** marketable price)

อาหารปลานิล (*Oreochromis aureus*) ไม่ควรเกิน 15% ด้วยคุณสมบัติของหัวกุ้งที่นอกจากมีค่าโปรตีนสูงแล้ว (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ยังอุดมด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 (n-3 fatty acids) โคเลสเตอรอล และแอสตาแซนติน (Lovell, 1998) จึงส่งผลในแง่บวกต่อการเจริญเติบโตของปลา อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณหัวกุ้งป่นในอาหารสูงกว่า 13.84% ของน้ำหนักอาหาร พบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลแดงลดลง เนื่องจากคุณภาพของโปรตีนในหัวกุ้งป่นถึงแม้จะมีค่าสูงเกิน 40% แต่ค่าโปรตีนที่แท้จริงจะมีค่าต่ำกว่านี้เนื่องจาก 10-15% ของปริมาณไนโตรเจนในหัวกุ้งป่นเป็นไคติน (Lovell, 1998) ซึ่งโครงสร้างของไคตินประกอบด้วยหน่วยย่อยของ β-(1→4)-N-acetyl-D-glucosamine โดยสามารถพิจารณาค่าไคตินจากจากค่าเยื่อใย (fiber) ของอาหาร (Shiau and Yu, 1999) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในอาหารทดลองครั้งนี้ พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหัวกุ้งป่น ปริมาณไคตินในอาหารที่เพิ่มขึ้น จะลดประสิทธิภาพการย่อยอาหาร (dry matter digestibility) และประสิทธิภาพการย่อยไขมัน (lipid digestibility) จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลาลดลงด้วย (Shiau and Yu, 1999) ปริมาณหัวกุ้งป่นในอาหารที่มีการแนะนำให้ใช้นั้นไม่ควรเกิน 20% สำหรับปลากินเนื้อ (carnivorous) และ 10% สำหรับปลากินทั้งเนื้อทั้งพืช (omnivorous) และปลากินพืช (herbivorous) (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุกมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตอาหารปลาดุกซึ่งเป็นอาหารเม็ดลอยน้ำนั้น มีการให้ความร้อนเพื่อทำให้แป้งสุก ซึ่งส่งผลให้ปลาย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารได้ดีขึ้น (NRC, 1993; Kaushik, 2001) จึงใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนไขมันและโปรตีนในอาหารถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต สำหรับอาหารปลานิลแดงสูตรที่ 1-5 เป็นอาหารที่ผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้มันเส้นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ถึงแม้บางส่วน (60 กรัม/อาหาร 1 กก.) จะถูกต้มให้สุกเพื่อใช้เป็นสารเหนียวในอาหาร แต่มันเส้นปริมาณมากยังไม่สุก จึงอาจส่งผลต่อการย่อยและใช้ประโยชน์คาร์โบไฮเดรตในอาหาร อย่างไรก็ตามปลานิลแดงที่ได้รับอาหารสูตรที่มีปลาป่นสูงสุด (สูตรที่ 1) มีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก นั่นแสดงว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาน่าจะมาจากคุณภาพของหัวกุ้งป่น ถึงแม้ว่าจะมีค่าโปรตีนสูงถึง 56.95% ของน้ำหนักแห้ง แต่มีปริมาณเถ้าและเยื่อใยสูงเช่นเดียวกัน (24.46 และ 13.18% ของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งหากใช้หัวกุ้งป่นเป็นวัตถุดิบอาหารในปริมาณที่สูงจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา ดังเหตุผลที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น

ถึงแม้ว่าปริมาณไคตินในอาหารจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหาร จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารแต่ละสูตรของปลานิลแดง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 96.17-96.79% แสดงให้เห็นว่าปลานิลแดงสามารถที่จะใช้โปรตีนในวัตถุดิบอาหารได้ดีไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับรายงานของ Shiau และ Yu (1999) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารของปลานิล (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) ในอาหารที่มีไคติน 0, 2, 5 และ 10% พบว่าปลามีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในอาหารแต่ละสูตร ในขณะที่ไคตินในอาหารสูงขึ้นลดประสิทธิภาพการย่อยอาหาร (dry matter digestibility) และประสิทธิภาพการย่อยไขมัน (lipid digestibility) ของปลา แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทดลองครั้งนี้กับรายงานของ Fagbenro และ Bollo-Olusoji (1997) ซึ่งทดลองใช้หัวกุ้งป่นตากแห้งผสมในอาหารปลาดุกเทศ (*Clarias gariepinus*) มีค่าสัมประสิทธิการย่อยโปรตีนเท่ากับ 76.2% และอาหารที่มีหัวกุ้งป่นที่หมักด้วยแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum* ซึ่งผลิตกรดแลคติกจนได้ไซเลจหัวกุ้ง (shrimp head silage) จะมีค่าประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารทั้งในหัวกุ้งป่นและไซเลจของหัวกุ้งป่น ที่ได้จากการศึกษาของ Fagbenro และ Bollo-Olusoji (1997) มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

ทั้งนี้ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเก็บมูลปลาซึ่งกระทำหลังจากให้อาหารมื้อเย็น 15 ชั่วโมงนั้น มีการสูญเสียสารอาหารในมูลไปในน้ำเนื่องจากทิ้งมูลปลาไว้ในน้ำนานเกินไป ซึ่งการเก็บมูลเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหาร ควรป้องกันมิให้สารอาหารละลายไปกับน้ำโดยเก็บมูลทันทีหลังจากสัตว์น้ำขับถ่าย และระหว่างเก็บรวบรวมต้องระวังไม่ให้กองมูลแตกและฟุ้งกระจาย Windell และคณะ (1978 อ้างโดย วีรพงศ์, 2536) รายงานว่าการเก็บมูลล่าช้า โดยทิ้งให้มูลแช่อยู่ในน้ำนาน 1 ชั่วโมง ทำให้น้ำหนัก โปรตีน และไขมันของมูลหายไป 21, 12 และ 4% แล้ว ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การย่อยโปรตีนและไขมันมีค่าเพิ่มขึ้น 11.5, 10 และ 3.7% ตามลำดับ

ความเข้มสีของตัวปลามีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับของคาโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในอาหาร อรพินท์ และคณะ (2548) รายงานว่าระดับที่เหมาะสมของคาโรทีนอยด์รวมในอาหารปลาคาร์ฟ (*Cyprinus carpio*) มีความเข้มข้นอย่างน้อย 96.2 มก./กก. สำหรับค่าคาโรทีนอยด์รวมในอาหารทดลองครั้งนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหัวกุ้งในอาหาร โดยมีค่าในช่วง 21.47-36.72 มก./กก. แต่มีค่าต่ำกว่ารายงานของ อรพินท์ และคณะ (2548) มาก อย่างไรก็ตามปริมาณคาโรทีนอยด์รวมในอาหารมีผลทำให้สีลำตัวปลาเข้มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่ได้ผสมหัวกุ้งป่นในอาหาร (อาหารสูตรควบคุมและอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก) โดยปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณหัวกุ้งในอาหารสูงสุดคือ 27.68% ของน้ำหนักอาหาร จะมีค่าคาโรทีนอยด์รวมในผิวหนังสูงสุดคือ 31.05±1.30 มก./กก. แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีหัวกุ้งระดับน้อยกว่านี้จะมีค่าคาโรทีนอยด์รวมในผิวหนังไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีหัวกุ้งป่น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลคาโรทีนอยด์รวมที่มีในอาหารทดลองแต่ละสูตรพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 21.47-36.72 มก./กก. ซึ่งน้อยจนแทบไม่มีผลต่อการสะสมคาโรทีนอยด์ในตัวปลา จากการทดลองในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) พบว่ามีความแตกต่างในด้านสีตัวเมื่อใช้อาหารทดลองที่มีแอสตาแซนทิน 0, 50, 100, 200 มก./กก. โดยระดับแอสตาแซนทิน 100 มก./กก. ขึ้นไปมีผลให้ปริมาณคาโรทีนอยด์รวมในตัวกุ้งเพิ่มมากกว่าปกติ (Yamada *et al*., 1990 อ้างโดย ดวงใจ, 2545) และจากการศึกษาของ มะลิ และนันทิยา (2528) พบว่าเมื่อเลี้ยงปลานิลแดงด้วยอาหารที่มีการผสมหัวกุ้งสด 15% ของน้ำหนักอาหาร จะมีผลในการเร่งสีบนตัวปลาช้ากว่าสูตรอื่นๆ (ที่มีส่วนผสมของกลีบดอกดาวเรือง สาหร่ายสไปรูลินา และขมิ้น) คือให้ผลในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามอาหารในสูตรที่มีส่วนผสมของหัวกุ้งสดก็สามารถเร่งสีจนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับอาหารสูตรที่มีกลีบดอกดาวเรืองในสัปดาห์ที่ 8 ของการทดลองโดยมีสีใกล้เคียงกับปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่ผสมสาหร่ายสไปรูลิน่า

จากการคำนวณราคาต้นทุนการผลิตอาหารโดยคิดเฉพาะราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ เมื่อมีการเพิ่มระดับของหัวกุ้งป่นในอาหารมากขึ้นทำให้ราคาอาหารถูกลง เมื่อเทียบกับอาหารสูตรควบคุมและอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก แต่เมื่อคิดต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ จะพบว่าอาหารที่มีหัวกุ้งป่นทุกสูตรมีราคาสูงกว่าสูตรควบคุม แต่มีราคาถูกกว่าอาหารปลาดุกที่เกษตรกรนิยมใช้ในการเลี้ยงปลานิล จากผลการศึกษาครั้งนี้ถึงแม้ว่าอาหารสูตรควบคุมซึ่งมีปริมาณปลาป่นสูงสุด มีต้นทุนการผลิตปลานิลแดงเมื่อคิดเฉพาะวัตถุดิบอาหาร 15.86±1.88 บาท/กก. จะเป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมทั้งในด้านคุณค่าทางโภชนาการและทางเศรษฐศาสตร์ แต่การทดแทนโปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากหัวกุ้งที่ 50% หรือ 13.84% ของน้ำหนักอาหาร ก็ถือเป็นสูตรอาหารที่มีคุณภาพเทียบเคียงได้กับอาหารสูตรควบคุม โดยมีต้นทุนการผลิตปลานิลแดงเมื่อคิดเฉพาะวัตถุดิบอาหาร 17.27±0.42 บาท/กก. และต้นทุนอาหารสูตรดังกล่าวก็ยังมีราคาต่ำกว่าอาหารสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีค่า 19.06±0.42 บาท/กก. ดังนั้นการนำหัวกุ้งป่นซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารก็น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับเกษตรกรที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตอาหารใช้เองในฟาร์มเพื่อใช้เลี้ยงปลานิลแดงต่อไป

สรุปผล

จากการศึกษาสามารถสรุปว่าสามารถใช้หัวกุ้งป่นในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ โดยใช้ทดแทนปลาป่น

50% โปรตีนจากปลาป่น หรือ 13.84% ของน้ำหนักอาหาร เมื่อพิจารณาจากต้นทุนการผลิตต่อน้ำหนักปลา โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกับอาหารที่มีระดับปลาป่นสูง

ข้อเสนอแนะ

1. ถึงแม้ว่าราคาอาหารในสูตรที่ใช้หัวกุ้งป่นจะลดต้นทุนได้ไม่มากแต่สามารถนำของเหลือใช้จากการแปรรูปอาหารทะเลมาใช้ประโยชน์ได้ ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงแนวทางในการเพิ่มปริมาณการใช้หัวกุ้งป่นในอาหาร เช่น การหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นไซเลจ อันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารได้มากขึ้น รวมทั้งการลดต้นทุนค่าวัตถุดิบอาหารชนิดอื่น เช่น ลดปริมาณวิตามินและแร่ธาตุรวมซึ่งมีราคาแพงลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเลี้ยงปลานิลในบ่อดินจะมีอาหารธรรมชาติซึ่งมีวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ อยู่แล้ว ดังนั้นจึงอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเสริมวิตามิน และแร่ธาตุลงไปในอาหารก็ได้

2. แม้ว่าการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะให้ผลการทดลองที่น่าพอใจคือ สามารถใช้โปรตีนจากหัวกุ้งป่นทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารได้สูงถึง 50% หรือ 13.84% ของน้ำหนักอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยในตู้ทดลองและปลาที่ใช้ทดลองก็เป็นปลาขนาดเล็ก (น้ำหนักเฉลี่ย 3 กรัม) ในขณะที่การเลี้ยงปลานิลส่วนใหญ่จะเป็นการเลี้ยงปลาที่มีขนาดใหญ่ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสูตรอาหารที่ส่วนประกอบของหัวกุ้งป่นในระดับที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลานิลวัยรุ่น จนได้ปลาขนาดตลาด (marketable size) ในสภาพการเลี้ยงจริง เช่น เลี้ยงในกระชัง และในบ่อดิน โดยอาศัยแนวทางของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการพัฒนาการใช้หัวกุ้งป่นเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่สนับสนุนการวิจัย ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ คุณอุทัย แกล้วกล้า คุณจรรยพร ขาวคง คุณวัชรี ส่งสีอ่อน คุณสร้อยแก้ว เอียงอุบล และคุณวีระยุทธ เลื่อนลอย ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ดวงใจ กิตติปรีชากุล. 2545. ผลของแอสตาแซนทินจากยีสต์ *Phaffia rhodozyma* ต่อสี การเจริญเติบโต อัตรารอด ความต้านทานโรค และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรรณศรี จริโมภาส และอภิรัตนา คุ้มเณร. 2528. การศึกษาผลผลิตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในกระชังด้วยอัตราการเลี้ยงต่างๆ กัน, เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 44 สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

พินิจ สีห์พิทักษ์เกียรติ บุญส่ง ศรีเจริญธรรม รัชฎาภรณ์ กิตติวรเชฏฐ์ สุชาติ อิงธรรมจิตร และธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. 2543. การเติบโต แบบจำลองผลผลิต ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจการเลี้ยงปลานิลในกระชังเชิงพาณิชย์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย, เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 204 สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง, กรุงเทพฯ.

มะลิ บุณยรัตผลิน และ นันทิยา อุ่นประเสริฐ. 2528. ผลของสารสีที่ได้จากแหล่งต่างๆ ต่อการเปลี่ยนสีและการเจริญเติบโตของปลานิลสีแดง. รายงานการสัมมนาวิชาการวิชาการประจำปี 2528 ณ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติบางเขน, กรุงเทพฯ, 16-18 กันยายน 2528 : 38-44.

วรรณา ชูฤทธิ์ จารุรัตน์ ชินาจริยวงศ์ ทิพยวรรณ ปริพัฒนานนท์ สุปราณี มณูรักษ์ชินากร ศิริอุมา บำรุงวงษ์ ทวีวิทย์ ภัควนิตย์ และโสภา ชาญโสภณ. 2543. รายงานการวิจัย เรื่อง การเพิ่มผลผลิตของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลและแนวทางการใช้ผลพลอยได้เพื่ออุตสาหกรรมที่ครบวงจร, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, นครศรีธรรมราช.

วีรพงศ์ วุฒิพันธ์ชัย. 2536. อาหารปลา. โอ เอส พริ้นติ้ง เฮาส์. กรุงเทพ.

สมพงษ์ การเพิ่ม. 2543. ผลของการใช้มันสำปะหลังแทนปลายข้าวในสูตรอาหารปลาต่อการเจริญเติบโตของปลานิลสีแดงแปลงเพศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อรพินท์ จินตสถาพร บัณฑิต ยวงสร้อย Stoner, G.R., Smithiwong, P. และ Gabaudan, J. 2548. ระดับเหมาะสมของคาโรทีนอยด์รวมต่อความเข้มสีปลาคาร์ฟ (*Cyprinus carpio*). **ใน** การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 43 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 1-4 กุมภาพันธ์ 2548 : 368-378.

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis, AOAC, Washington D.C.

Bowen, J., Soutar, C., Serwata, R.D., Lagocki, S., White, D.A., Davies, S.J. and Young, A.J. 2002. Utilization of (3S,3'S)-astaxanthin acyl esters in pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Aqua. Nutr., 8: 59-68.

Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture, Auburn University, Alabama.

Bureau, D.P., Kaushik, S.J., Cho, C.Y. 2002. Bio-energetics. **In** Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds.), Fish Nutrition, Academic Press, California, 1-59.

Corraze, G. 2001. Lipid nutrition. **In** Guillaume, J and Metailler, R (eds.), Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans, Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK., 111-130.

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

El-Sayed, A.-F.M. 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp., Aquaculture, 179: 149-168.

Fagbenro, O.A and Bello-Olusoji, O.A. 1997. Preparation, nutrient composition and digestibility of fermented shrimp head silage, Food Chemistry, 29: 489-493.

Furukawa, A. and Tsukahara, H. 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility in fish feed, Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish, 32 : 502-506.

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

Hertrampf, J.W. and Piedad-Pascual, F. 2000. Handbook on Ingrediens for Aquaculture Feed, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Kaushik, S.J. 2001. Carbohydrate nutrition: importance and limits of carbohydrate supplies. **In** Guillaume, J and Metailler, R (eds.), Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans, Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK., 131-144.

Lovell, T.1998. Nutrition and Feeding of Fish, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.

NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish, National Academy Press, Washington D.C.

Shiau, S.-Y. and Y.-P. Yu. 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, Aquaculture, 179: 439-446.

Spyridakis, P., Metailler, R., Gabuadan, J. and Riaza, A. 1989. Studies on nutrient digestibility in European sea bass (*Dicentraechus labrex*), Aquaculture, 77: 61-70.