นิพนธ์ต้นฉบับ

การแทนที่ปลาป่นในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.) ด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

วุฒิพร พรหมขุนทอง[1] วรรณชัย พรหมเกิด[2] กิจการ ศุภมาตย์[3]
วุฒิกรณ์ จิตติวรรณ[4] และ ดุสิต นาคะชาต[5]

Abstract

Phromkunthong, W., Phromkerd, W., Supamattaya, K., Chittiwan, V. and Nakachart, D.

Replacing palm kernel cake for fishmeal in sex-reversed red tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.) feed

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2004, 26(2) : 167-179

Five isonitrogeneous and isocaloric feeds containing various levels of palm kernel cake (0, 10, 20, 30 and 40%) as a replacement for fishmeal were fed to four replicate groups of sex-reversed red tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.) fingerlings, mean initial weight 3.02-3.03 g, in 235-l aquaria fitted with a closed recirculation system for 10 weeks. The results showed declines in growth, feed utilization and digestibility coefficient with increases in the levels of supplemented palm kernel cake. The maximum growth was achieved in the fish given the feed with 10% palm kernel cake and was different from that when the basal feed (formula 1) was used. Satisfactory results of feed utilization, (feed conversion ratio, protein efficiency ratio, apparent

---

Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand

---

[1]Dr.Rer.Nat.(Aquatic Animal Nutrition) รองศาสตราจารย์ [2]วท.ม.(วาริชศาสตร์) [3]Dr.Rer.Nat.(Aquatic Animal Pathology) รองศาสตราจารย์ [4]M.Sc.(Marine Biology) [5]กศ.บ.(ชีววิทยา) ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail: pwutipor@ratree.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 29 กรกฎาคม 2546 รับลงพิมพ์ 3 ธันวาคม 2546

net protein utilization) and digestibility coefficient were noted in the fish groups given the feed with a maximum of 20% palm kernel cake in their feeds. The supplementation of palm kernel cake at any levels in the feeds had no effects on fish's blood parameters or hepatosomatic index. It was concluded that the maximum of 20% palm kernel cake could be supplemented in the feed for sex-reversed red tilapia while maintaining satisfactory growth, feed utilization, digestibility coefficient and normal fish physiology. Besides, the feed cost was kept minimum compared to the supplementation of other levels of palm kernel cake in their feeds.

Key words : palm kernel cake, sex-reversed tilapia, *Oreochromis niloticus* Linn., digestibility, feed utilization

บทคัดย่อ

วุฒิพร พรหมขุนทอง วรรณชัย พรหมเกิด กิจการ ศุภมาตย์ วุฒิกรณ์ จิตติวรรณ และ ดุสิต นาคะชาต

การแทนที่ปลาป่นในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.) ด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2547 26(2) : 167-179

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ โดยใช้ปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 3.02-3.04 กรัม ทำการทดลองในตู้กระจกความจุน้ำ 235 ลิตร ระบบน้ำเป็นแบบไหลเวียนแบบปิด อาหารทดลองมี 5 สูตร แต่ละสูตรมี 4 ซ้ำ โดยอาหารสูตรที่ 1 ถึง 5 มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับ 0, 10, 20, 30 และ 40% ตามลำดับ และปรับระดับสารอาหารในทุกสูตรให้มีโปรตีน ไขมันและพลังงานใกล้เคียงกัน (โปรตีน 30% ไขมัน 7-9% และพลังงานที่ย่อยได้ 3,200 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กิโลกรัม) ใช้เวลาทดลองนาน 10 สัปดาห์ ผลจากการทดลองพบว่า การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และสัมประสิทธิ์การย่อยอาหารลดลงตามระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ผสมเพิ่มสูงขึ้นในอาหาร โดยการเจริญเติบโตของปลาสูงที่สุดเมื่อปลาได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10% ซึ่งไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน (สูตรที่ 1) ในขณะที่การผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันไม่เกิน 20% ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร, อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ, การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และสัมประสิทธิ์การย่อยอาหารของปลาอยู่ในเกณฑ์ดี การผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารทุกระดับไม่มีผลต่อองค์ประกอบเลือดและดัชนีตับต่อตัวปลา จากผลการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า สามารถผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลแปลงเพศได้ไม่เกิน 20% โดยที่ทำให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและสัมประสิทธิ์การย่อยอาหารอยู่ในเกณฑ์ดีและสรีรวิทยาของปลาปกติ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ต้นทุนการผลิตปลาต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับอื่น ๆ ที่ทดสอบ

ปลาป่นเป็นโปรตีนหลักที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในอาหารปลา เนื่องจากมีความสมดุลของกรดอะโนและแร่ธาตุต่างๆ ครบถ้วน แต่เนื่องจากปลาป่นมีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับโปรตีนจากแหล่งอื่น (De Silva and Anderson, 1995) และมีรายงานวิจัยที่กล่าวถึงการใช้โปรตีนจากแหล่งอื่นแทนที่ปลาป่น เช่น การใช้เมล็ดพืชน้ำมันบางชนิดเสริมในอาหารปลา ได้แก่ ถั่วลิสง เรปสีด (rapesses) งา และแมคคาเดเมีย (macadamia) โดยพบว่าสามารถใช้วัตถุดิบแต่ละชนิดเสริมในอาหารได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน (El-Sayed, 1999) โดยขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนและสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factors) ในวัตถุดิบนั้นๆ (Halver, 1989)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและปลูกกันมากทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยมีการขยายตัว

เชิงอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ในอุตสาหกรรมสกัด (หีบ) ปาล์มน้ำมัน ผลพลอยได้คือกากผลปาล์มน้ำมัน (oil palm meal) ซึ่งได้จากการนำเอาปาล์มทั้งผลมาสกัดน้ำมัน มีโปรตีนค่อนข้างต่ำประมาณ 7% แต่มีเยื่อใยสูงประมาณ 30% อีกส่วนคือ กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการนำเมล็ดปาล์ม ซึ่งแยกเอาส่วนของเปลือกนอกออกแล้วมาสกัดน้ำมันซึ่งเป็นส่วนที่มีกะลาปนอยู่ ส่วนประกอบทางเคมีของส่วนนี้มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการหีบน้ำมันและวัตถุดิบ โดยมีโปรตีนสูงประมาณ 10-12% เยื่อใยประมาณ 20-25% และมีความสมดุลระหว่างแคลเซียม และฟอสฟอรัสดีกว่ากากเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ (McDonald *et al*., 1981) จึงนิยมนำไปใช้ในส่วนผสมของอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์

ปลานิลเข้ามามีบทบาทในการแก้ปัญหาในการขาดแคลนอาหารโปรตีนสำหรับบริโภคและเป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศ และต่างประเทศในภาคพื้นเอเชีย และสหรัฐอเมริกา จากข้อมูลทางสถิติการประมงแห่งประเทศไทย รายงานว่าผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดทั้งหมดในปี พ.ศ.2542 มีปริมาณ 252,612 ตัน โดยเป็นผลผลิตปลานิลสูงสุด คือ 76,541 ตัน คิดเป็น 30.3% ของผลผลิตทั้งหมด รองลงมาคือผลผลิตของปลาดุกและปลาตะเพียนขาว ตามลำดับ แต่ประเทศไทยส่งออกปลานิลเพียง 5% ของผลผลิตภายในประเทศ การเลี้ยงปลานิลส่วนใหญ่จึงเป็นการรองรับความต้องการบริโภคภายในประเทศ ดังนั้นหากสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ การส่งออกปลานิลจึงมีลู่ทางที่แจ่มใส (กรมประมง, 2545) แม้ว่าปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจที่น่าสนใจและมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการเพาะเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรมและสามารถพัฒนาการผลิตได้ไม่จำกัด แต่อาจส่งผลให้เกิดการแข่งขันในด้านปริมาณและราคา จึงควรมีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางในหลายๆ ด้าน เพื่อลดต้นทุนการผลิตปลานิลให้ต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนการผลิตครึ่งหนึ่งมาจากค่าอาหารปลา การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศ เพื่อจะได้ทราบถึงระดับที่เหมาะสมของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่สามารถใช้แทนที่ปลาป่นในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิล อันเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนการผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด 45×95×45 ซม. ความจุน้ำ 192 ลิตร ปิดด้านข้างและด้านหลังตู้ด้วยผ้าพลาสติกสีเขียวทึบ 3 ด้าน เพื่อป้องกันการรบกวนจากภายนอก ระบบน้ำที่ใช้เป็นระบบปิด ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ระบบกรอง ประกอบด้วย แผ่นผ้ากรอง ถ่าน ทราย และเปลือกหอย และบ่อพักน้ำ โดยมีอัตราการไหลเวียนของน้ำ 0.8-1.2 ลิตร/นาที

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำลูกปลานิลแดงแปลงเพศที่มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 0.3-0.6 กรัม จำนวน 2,500 ตัว จากสถานีประมงน้ำจืดจังหวัดนครศรีธรรมราช มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดความจุ 1 ลบ.ม. เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อให้ปลาปรับสภาพให้เหมาะสมต่อสภาพของการทดลอง โดยใช้อาหารลูกปลาดุกขนาดเล็กยี่ห้อไฮ-เกล็ดเบอร์ 9961 ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการคือ โปรตีน 40% ไขมัน 6% ความชื้น 12% และกาก 5% โดยให้วันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น เวลา 9.00 น. และ 16.30 น. สังเกตพฤติกรรมการยอมรับอาหารจนปลาทดลองมีขนาดน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วงตัวละ 3.02-3.04 กรัม ก่อนเริ่มทำการทดลองนำลูกปลาไปตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียและปรสิตภายนอก ลูกปลาที่ใช้ทดลองต้องมีสุขภาพดีไม่มีโรคใดๆ ปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของตู้และอาหารทดลองเป็นเวลา 7 วัน ก่อนเริ่มทำการทดลอง โดยอาหารที่ให้เป็นอาหารสูตรที่ 1 ที่ใช้ในการทดลอง

3. การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้สำหรับการทดลองนี้มี 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ชุดการทดลองที่ 2-5 มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10, 20, 30 และ 40% ตามลำดับ เตรียมวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด แป้งข้าวเจ้า โดยนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า) โดยวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) (Table 1) และเตรียม

Table 1. Proximate analysis of feed ingredients (% as fed basis)[1]

Feed ingredients	Moisture	Protein	Fat	Ash	Crude fiber	NFE
Palm kernel cake	5.05±0.02	15.16±0.12	13.29±0.51	3.90±0.00	18.75±0.66	43.85±1.26
Fish meal	6.77±0.02	69.77±0.33	13.17±0.53	16.40±0.14	0	0.86±0.76
Soybean meal	11.76±0.21	40.84±0.29	2.18±0.06	8.02±0.26	5.62±0.28	31.58±0.00
Rice bran	6.15±0.09	11.54±0.21	20.35±0.22	13.42±0.24	8.50±0.19	40.07±0.41
Rice flour	7.91±0.15	7.09±0.12	0.81±0.08	0.31±0.01	0.13±0.11	83.75±1.20

[1]Mean ± standard deviation of three replications
NFE: Nitrogen-free extract

อาหารทดลองตามสูตรที่คำนวณไว้โดยให้มีโปรตีน 30% ไขมันไม่เกิน 10% และพลังงานที่ย่อยได้ 3,200 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กก. ค่าพลังงานที่ย่อยได้ในอาหารคำนวณโดยใช้ค่าต่างๆ ซึ่งประยุกต์มาจากค่าที่ใช้ในปลานิลคือ 4.4 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กก. สำหรับโปรตีน 9 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กก. สำหรับไขมัน และ 3.7 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กก. สำหรับคาร์โบไฮเดรต (Stickney, 1979) วิธีการเตรียมอาหารทดลอง โดยการชั่งวัสดุอาหารแต่ละอย่าง (Table 2) ได้แก่ กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด แป้งข้าวเจ้า น้ำมันถั่วเหลือง วิตามิน และแร่ธาตุผสม อัลฟาสตาร์ท โครมิกซ์ออกไซด์ และแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเติมเต็ม ตามสูตรที่คำนวณไว้ ทำการผสมส่วนประกอบวัสดุอาหารให้เข้ากันดี เติมน้ำลงไป 40% นำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดโดยใช้ Hobart mixer รุ่น

Table 2. Composition of experimental diets

Ingredients (g/kg feed)	Diet formulae				
	1	2	3	4	5
Palm kernel cake (PKC)	0	100	200	300	400
Fishmeal	180	160	140	115	90
Soybean meal	360	380	400	420	432.5
Rice bran	170	125	80	30	0
Rice flour	130	80	30	10	0
Soybean oil	21	21	22.5	15	0
Vitamin and mineral mixtures 1	30	30	30	30	30
Alfa-starch	10	10	10	10	10
Chromic oxide	10	10	10	10	10
Rice hull	89	84	77.5	60	27.5
total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Digestibility energy (Kcal/Kg feed)	3,208.60	3,208.60	3,208.40	3,202.90	3,208.70

[1]Vitamin and mineral mixture supplemented (g/kg feed): Thiamine (B_1) 10 mg; Riboflavin (B_2) 20 mg; Pyridoxine (B_6) 10 mg; Cyanocobalamin (B_{12}) 2 mg; Cholecalciferol (D_3) 29.2 mg; Menadione sodium bisulfite (K_3) 80 mg; Folic acid 5 mg; Calcium pantothenate 40 mg; Inositol 400 mg; Niacin 150 mg; DL-alpha-tocopherol (E) 60 mg; Choline chloride 6,000 mg; Ascorbic acid (C) 500 mg; Anticaking 200 mg; Antioxidant 2 mg; Acetate(A) & Cholecalciferol (AD_3) Rovimix AD_3 500/100 700,000 IU NaCl 0.25 g; $MgCO_3$ 3.75 g; $FeSO_4$ 0.72 g; $(CH_3COO)_2$ $Ca.5H_2O$ 0.88 g; $ZnSO_4.7H_2O$ 0.088 g; $MnSO_4.4H_2O$ 0.040 g; $CuSO_4.5H_2O$ 0.008 g; $CoCl_2.6H_2O$ 0.00025 g; $KIO_3.6H_2O$ 0.00075 g

Model A200T ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. และนำอาหารไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60ºC นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงบรรจุในถุงพลาสติกสีดำ แล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4ºC และตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า) ตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (1990) (Table 3)

4. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design; CRD) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (Duncan, 1955) ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 10 สัปดาห์ โดยแบ่งระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ทดสอบเป็น 5 ระดับคือ 0, 10, 20, 30 และ 40% ตามลำดับ แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 4 ซ้ำ เติมน้ำลงในตู้ที่เตรียมไว้ประมาณ 180 ลิตร/ตู้ ระบบน้ำเป็นแบบไหลเวียนแบบปิด เปิดเครื่องพ่นอากาศตลอดเวลาในตู้ เมื่อเริ่มต้นการทดลองนำปลาทดลองน้ำหนักเฉลี่ย 3.01-3.04 กรัม/ตัวปล่อยลงเลี้ยงในตู้ทดลองตู้ละ 20 ตัวจำนวน 20 ตู้ ให้อาหารปลาทดลองวันละ 2 ครั้ง คือเวลาเช้าประมาณ 09.00 น. และเวลาเย็นประมาณ 16.00 น. โดยให้ปลากินจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้ทุก 2 สัปดาห์ตลอดการทดลอง ชั่งน้ำหนักปลาทุก 2 สัปดาห์ และตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนการเลี้ยงและทุกๆ 2 สัปดาห์ตลอดการทดลองตามวิธีการของ Boyd และ Tucker (1992) ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ออกซิเจน (dissolved oxygen, DO) อุณหภูมิน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ความเป็นด่าง (total alkalinity) ความกระด้าง (total hardness) แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท เพื่อปรับคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการดำรงชีพของปลา

5. การคำนวณค่าดัชนีตับต่อตัว (Hepatosomatic Index)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 6 ตัว นำปลาแต่ละตัวไปชั่งน้ำหนักตัวและน้ำหนักตับ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีตับต่อตัว ตามวิธีของ Anwar และ Jafri (1995)

6. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลา

สุ่มตัวอย่างปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 8 ตัว นำไปวิเคราะห์ความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990) จากนั้นจึงนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER, protein efficiency ratio) ตามวิธีการของ Zeitoun และคณะ (1973) การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (ANPU, apparent net protein utilization) ตามวิธีของ Robinson และ Wilson (1985)

7. การศึกษาองค์ประกอบเลือด

สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 8 ตัว มาสลบด้วยน้ำยา 2-henoxyethenol เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางโดยใช้เอทีลีนไดอะมีนเตตราอะซิติกแอสิด (ethylene-dia-minetetraacetic acid : EDTA) 1% เป็นสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด เพื่อศึกษาองค์ประกอบของเลือดคือ

7.1 ฮีโมโกลบิน โดยใช้วิธี cyanmet-haemoglobin ของ Larsen และ Snieszko (1961)

Table 3. Proximate analysis of experimental diets (on % dry matter basis)[1]

Experimental group	Moisture	Protein	Fat	Ash	Crude fiber	NFE
1. PKC 0%	1.92±0.08	30.60±0.18	8.57±0.42	11.25±0.01	9.38±0.15	38.32±0.44
2. PKC 10%	2.70±0.03	30.27±0.25	8.95±0.61	10.84±0.02	10.43±0.32	36.82±1.09
3. PKC 20%	2.92±0.02	30.42±0.43	9.20±0.66	10.32±0.05	17.53±0.48	29.60±1.15
4. PKC 30%	2.39±0.13	30.46±0.08	8.89±0.54	9.59±0.01	20.36±0.34	28.30±0.46
5. PKC 40%	2.18±0.04	30.24±0.29	7.21±0.11	8.74±0.03	23.99±0.67	27.64±0.99

[1]Mean ± standard deviation of three replications
NFE: Nitrogen-free extract

7.2 ฮีมาโตคริต โดยวิธีดัดแปลงจาก Blaxhall และ Daisley (1973)

7.3 โปรตีนในพลาสมา โดยวิธีดัดแปลงจาก Lowry และคณะ (1951)

7.4 การนับจำนวนเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาว ตามวิธีการของ Blaxhall และ Daisley (1973)

8. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารทดลองของปลานิล

ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลานิล โดยเติมโครมิกซ์ออกไซด์ 1% ของน้ำหนักอาหารเพื่อเป็นตัวบ่งชี้ และลดปริมาณแกลบป่นในอาหาร ทำการเก็บรวบรวมมูลปลาโดยวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) โดยเก็บรวบรวมมูลปลาวันละ 2 ครั้ง เวลาเช้าและเย็นหลังจากให้อาหาร 1 ชั่วโมง ก่อนเก็บมูลปลาทำความสะอาดตู้เพื่อกำจัดเศษอาหารและมูลปลาที่ตกค้างในตู้ วิธีการเก็บมูลปลาโดยใช้สายพลาสติกขนาดเล็กดูดมูลปลาออกจากตู้แล้วกรองด้วยถุงกรองที่ผูกติดไว้กับสายยางอีกด้านหนึ่งแล้วนำไปแช่แข็ง เก็บรวบรวมมูลในสัปดาห์ที่ 4-6 เป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้ได้ตัวอย่างเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ อบมูลปลาให้แห้งที่อุณหภูมิ 60ºC นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างนั้นไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990) วิเคราะห์ปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและในมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966)

9. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 10.0 วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Duncan, 1955)

ผลการทดลอง

1. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลแปลงเพศ

ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆ ไม่พบความผิดปกติของลักษณะภายนอก และปลาทุกตัวมีพฤติกรรมปกติ สุขภาพแข็งแรงตลอดการทดลอง

2. การเจริญเติบโต

2.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ดังแสดงใน Table 4 น้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง โดยเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง แนวโน้มของน้ำหนักปลาลดลงในชุดการทดลองของปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารในระดับที่สูงขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 2 ปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 0 ถึง 30% ยังมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดี ($p<0.05$) ส่วนในสัปดาห์

Table 4. Average body weight of sex-reversed tilapia fed the experimental diets for 10 weeks[1]

Experimental group	Rearing period (week)					
	0	2	4	6	8	10
1. PKC 0%	3.02±0.01^{a}	8.62±0.20^{c}	20.63±0.52^{d}	39.01±0.87^{d}	57.73±1.24^{d}	83.80±3.67^{d}
2. PKC 10%	3.03±0.01^{a}	8.72±0.62^{c}	19.54±1.49^{cd}	37.24±1.47^{d}	54.91±1.41^{d}	79.83±1.30^{d}
3. PKC 20%	3.02±0.01^{a}	7.94±0.66^{bc}	18.55±1.04^{c}	34.25±1.20^{c}	50.42±1.38^{c}	71.71±4.62^{c}
4. PKC 30%	3.03±0.01^{a}	7.23±0.66^{b}	16.46±1.68^{b}	30.18±2.69^{b}	43.51±3.58^{b}	66.64±3.07^{b}
5. PKC 40%	3.04±0.02^{a}	6.19±0.40^{a}	13.28±0.75^{a}	24.21±1.43^{a}	35.42±1.78^{a}	54.28±2.21^{a}

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

ที่ 4 การผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารถึงระดับ 20% ยังให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดี โดยไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10% (สูตรที่ 2) ($p>0.05$) แต่ต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน) ($p<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 ปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันตั้งแต่ 20% ขึ้นไป (สูตรที่ 3, 4 และ 5) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน) และ 2 (ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10 %) ($p<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8 และ 10 ปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10% (สูตรที่ 2) มีน้ำหนักเฉลี่ยไม่ต่างจากปลาที่ได้รับอาหารไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (สูตรที่ 1) ($p>0.05$) แต่ต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ทุกสูตร ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยลดหลั่นลงไปตามระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ผสมในอาหาร ($p<0.05$) (Table 4)

3. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย ของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 5 สูตร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ แสดงใน Table 5 พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 5 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 1,699.45±78.33-2,665.51±126.31% และ 4.13±0.06 - 4.74±0.07% ต่อวัน ตามลำดับ และมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 5) ระหว่างชุดการทดลองเช่นเดียวกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในสัปดาห์ที่ 8 และ 10 โดยพบว่า ค่าดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่สูงขึ้น โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน) และสูตรที่ 2 (ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10%) มีค่าสูงที่สุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 40 % (สูตรที่ 5) มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด (Table 5) และพบว่าอัตราการกินอาหารของปลากลับสูงขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่สูงขึ้น และมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) (Table 5)

อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยปลาทุกชุดการทดลองรอดตาย 100% (Table 5)

4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร แสดงใน Table 6 โดยพบว่า อัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นเนื้อมีค่าสูง (มีค่าอยู่ในช่วง 1.10±0.43 - 1.48±0.51) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีค่าต่ำ (มีค่าอยู่ในช่วง 2.25±0.08 - 2.98±0.11) เมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

Table 5. Weight gain, specific growth rate, rate of feed intake and survival rate of sex-reversed tilapia fed the experimental diets[1]

Experimental group	Weight gain (%)	Specific growth rate (%/day)	Rate of feed intake (%/body weight/day)	Survival rate (%)
1. PKC 0%	2,665.51±126.31[d]	4.74±0.07[d]	2.92±0.10[a]	100.00±0.00[a]
2. PKC 10%	2,540.00±39.70[d]	4.70±0.03[d]	3.01±0.06[ab]	100.00±0.00[a]
3. PKC 20%	2,273.01±156.43[c]	4.56±0.06[c]	3.14±0.19[b]	100.00±0.00[a]
4. PKC 30%	2,102.78±109.70[b]	4.41±0.08[b]	3.37±0.11[c]	100.00±0.00[a]
5. PKC 40%	1,699.45±78.33[a]	4.13±0.06[a]	3.78±0.11[d]	100.00±0.00[a]

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

ในระดับที่สูงขึ้น และมีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) (Table 6) ส่วนค่าการใช้ประโยชน์ จากโปรตีนสุทธิ มีค่าอยู่ในช่วง 29.36±0.97 - 43.86±0.97% โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลอง ที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 20% (สูตรที่ 3) มีค่าไม่ต่างกับปลาที่ได้รับอาหารไม่ผสมกากเนื้อ เมล็ดในปาล์มน้ำมัน (สูตรที่ 1) และผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10% (สูตรที่ 2) (p>0.05) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30% (สูตรที่ 4) และ 40% (สูตรที่ 5) มีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำและมีความแตกต่างกันทุกชุดการทดลอง (p<0.05) (Table 6)

5. สัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีน และไขมัน ของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลอง ทั้ง 5 สูตร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ แสดงใน Table 7 โดยพบว่า สัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีน และไขมันมีค่าลดลงตามระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ผสมมากขึ้นในอาหาร โดยสามารถผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้ 20% โดยไม่ทำให้ค่าดังกล่าวแตกต่างจากอาหารที่ไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นสูตรควบคุม (สูตรที่ 1) (p>0.05) (Table 7) ส่วนสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 20 % (สูตรที่ 3) ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10% (สูตรที่ 2) (p>0.05) แต่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (สูตรที่ 1) (p<0.05) (Table 7)

6. ส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลา

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวเมื่อเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลองแสดงไว้ใน Table 8 โดยค่าโปรตีนในตัวปลามีแนวโน้มลดลง ส่วนไขมันมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่สูงขึ้น (p<0.05) ค่าของความชื้นและเถ้าไม่มีความสัมพันธ์กับระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ผสมในอาหาร แม้จะมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (P<0.05) (Table 8).

7. ส่วนประกอบทางโภชนาการของมูลปลาทดลอง

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของมูลปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงไว้ใน Table 9 โดยค่าโปรตีนและเถ้ามีแนวโน้มลดลง ส่วนเยื่อใย และไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรกซ์ มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่สูงขึ้น (p<0.05) (Table 9) ค่าของไขมันไม่มีความสัมพันธ์กับระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ผสมในอาหาร แม้จะมีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) (Table 9)

8. องค์ประกอบเลือดและดัชนีตับต่อตัวปลา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 สูตร ได้แก่ ฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน พลาสมา

Table 6. Feed conversion ratio (FCR), Protein efficiency ratio (PER) and Apparent net protein utilization (ANPU) of sex-reversed tilapia fed the experimental diets[1]

Experimental group	FCR	PER	ANPU(%)
1. PKC 0%	1.10±0.43[a]	2.98±0.11[d]	39.71±1.52[bc]
2. PKC 10%	1.14±0.23[ab]	2.91±0.06[cd]	43.86±0.97[d]
3. PKC 20%	1.20±0.80[b]	2.76±0.18[c]	42.29±3.61[cd]
4. PKC 30%	1.30±0.47[c]	2.54±0.09[b]	36.88±1.32[b]
5. PKC 40%	1.48±0.51[d]	2.25±0.08[a]	29.36±0.97[a]

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

Table 7. Apparent digestibility coefficients of dry matter, protein and fat from experimental diets for sex-reversed tilapia[1]

Experimental group	Dry meter	Protein	Fat
1. PKC 0%	59.11±1.11[d]	87.59±0.28[b]	83.27±1.09[bc]
2. PKC 10%	55.71±4.31[cd]	87.01±1.41[b]	87.31±2.90[c]
3. PKC 20%	49.96±4.25[c]	85.41±1.14[ab]	82.88±4.04[bc]
4. PKC 30%	40.49±6.45[b]	83.81±1.91[a]	76.65±2.67[a]
5. PKC 40%	32.58±1.73[a]	83.88±0.25[a]	78.71±1.25[ab]

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

Table 8. Whole body composition (%) of sex-reversed tilapia fed the experimental diets for 10 weeks[1]

Experimental group	Moisture	Protein	Fat	Ash
Fish initial	77.20±0.00	56.31±0.27	19.58±0.44	16.39±0.29
1. PKC 0 %	76.07±2.26[b]	55.43±0.35[c]	20.20±0.27[a]	15.86±0.15[c]
2. PKC 10 %	73.07±0.81[a]	55.43±0.01[c]	19.96±0.28[a]	15.03±0.65[b]
3. PKC 20 %	74.95±1.19[ab]	55.35±0.29[c]	21.21±0.52[b]	16.71±0.06[e]
4. PKC 30 %	73.68±1.59[a]	54.62±0.14[b]	24.67±0.24[c]	15.96±0.29[d]
5. PKC 40 %	75.01±0.69[ab]	53.80±0.30[a]	25.56±0.24[d]	14.35±0.30[a]

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

Table 9. Chemical composition of feces of sex-reversed red tilapia fed the experimental diets for 10 weeks[1]

Feces	Moisture	Protein	Fat	Ash	Fiber	NFE
1.PKC 0%	2.95±0.17[a]	9.29±0.57[d]	3.52±0.43[c]	17.13±0.05[d]	23.34±0.12[a]	40.06±0.34[a]
2.PKC 10%	3.27±0.10[a]	8.87±0.49[c]	2.55±0.38[ab]	17.17±0.13[d]	24.94±0.55[b]	45.14±0.55[b]
3.PKC 20%	3.01±0.09[a]	8.88±0.56[c]	3.12±0.45[bc]	14.52±0.05[c]	26.05±0.74[c]	44.37±0.50[b]
4.PKC 30%	3.65±0.32[b]	8.29±0.52[b]	3.48±0.16[c]	11.20±0.08[b]	26.54±0.38[c]	48.44±0.65[c]
5.PKC 40%	4.52±0.11[c]	7.23±0.41[a]	2.28±0.17[a]	9.29±0.10[a]	27.06±0.68[c]	50.14±0.48[d]

[1]Mean ± standard deviation of three replications.
Means within each column not sharing a common superscript are significantly different (p>0.05)
NFE: Nitrogen-free extract

โปรตีน เม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว (Table 10) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง โดยมีค่าฮีมาโตคริตอยู่ในช่วง 27.19±1.88 - 29.56±2.95% ค่าพลาสมาโปรตีนอยู่ในช่วง 13.01±1.17 - 14.47±1.13% ค่าฮีโมโกลบินอยู่ในช่วง 6.06±0.59 - 6.84±0.54% ปริมาณเม็ดเลือดแดงมีค่าอยู่ในช่วง $2.80\times10^6 \pm 4.20\times10^5$ - $3.46\times10^6 \pm 1.46\times10^5$ เซลล์/มล. และปริมาณเม็ดเลือดขาวอยู่ในช่วง $1.09\times10^5 \pm 2.33\times10^4$ - $1.24\times10^5 \pm 1.75\times10^4$

Table 10. Blood parameters and hepatosomatic index of sex-reversed red tilapia fed the experimental diets for 10 week[1]

Experimental group	Hematocrit (%)	Hemoglobin (g/dl)	Plasmaprotein (mg%)	Red blood cell (cell/mm³)	Whit blood cell (cell/mm³)	Hepatosomatic index (%)
1. PKC 0%	29.56±2.95[a]	6.84±0.54[a]	12.87±1.88[a]	2.80×106±4.20×10[5a]	1.24×105±1.75×10[4a]	1.61±0.13[ab]
2. PKC 10%	27.50±2.25[a]	6.30±0.74[a]	13.92±1.36[a]	3.02×106±5.41×10[5a]	1.22×105±3.19×10[4a]	1.45±0.16[a]
3. PKC 20%	27.56±3.33[a]	6.16±0.60[a]	13.66±4.91[a]	3.46×106±1.46×10[5a]	1.13×105±2.95×10[4a]	1.29±0.43[a]
4. PKC 30%	28.94±5.49[a]	6.49±0.63[a]	14.47±1.13[a]	3.23×106±3.43×10[5a]	1.09×105±2.33×10[4a]	1.88±0.25[a]
5. PKC 40%	27.19±1.88[a]	6.06±0.59[a]	13.01±1.17[a]	3.04×106±3.99×10[5a]	1.13×105±2.32×10[4a]	1.55±0.08[ab]

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

เซลล์/มล.

ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลานิลแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับต่างๆ กัน (Table 10) มีค่าอยู่ในช่วง 1.29±0.43 - 1.88±0.25% และมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p< 0.05) (Table 10)

9. ราคาอาหารและต้นทุนการผลิตปลา

จากการคำนวณราคาค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารทั้ง 5 สูตร พบว่า สูตรอาหารที่มีระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อาหารมีราคาต่ำลง ดัง Table 11 และจากการวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารสูตรต่างๆ ต่อการผลิตปลา 1 กก. พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) (Table 11) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 3 และ 4 (ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10, 20 และ 30%) มีต้นทุนค่าการผลิตปลาต่อหน่วยต่ำที่สุด (19.84±0.44, 19.14±1.29 และ 19.26±0.69 บาท ตามลำดับ) รองลงมาคือปลากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตร 5 (ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 40%) มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 20.41±0.73 บาท/การผลิตปลา 1 กก. ส่วนปลากลุ่มที่มีต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลาต่อหน่วยสูงสุดคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ไม่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน) มีต้นทุนเท่ากับ 20.91±0.82 บาท

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองครั้งนี้ จะเห็นได้ว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลอง และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองเป็นไป

Table 11. Feed cost and fish cost production[1]

Experimental groups	Feed cost (baht /kg)	Fish cost production (baht/kg fish)
1. PKC 0%	19.02	20.91±0.82[b]
2. PKC 10%	17.47	19.84±0.44[ab]
3. PKC 20%	15.98	19.14±1.29[a]
4. PKC 30%	14.89	19.26±0.69[a]
5. PKC 40%	13.83	20.41±0.73[ab]

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

ในแนวทางเดียวกัน นั่นคือ การเจริญเติบโตของปลาลดลงตามระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 10% มีการเจริญเติบโต (น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น, อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ) ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน ซึ่งไม่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันผสมอยู่เลย และจากการเปรียบเทียบผลด้านอื่นๆ ก็เป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าค่าการใช้ประโยชน์จากอาหาร (feed utilization) ได้แก่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ, ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิลดลงเมื่อปลาได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่สูงขึ้น และผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าต่างๆ เหล่านี้ยืนยันว่าสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลได้ไม่เกิน 20% ใกล้เคียงกับการทดลองของนิรุทธิ์ (2544) ที่พบว่าสามารถผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้ 30% ในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลแปลงเพศที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นตัวละ 2 กรัม โดยในอาหารมีระดับพลังงานที่ย่อยได้ (digestibility energy) 3,300 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กิโลกรัม จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า การเจริญเติบโตของปลานิลสอดคล้องกับสัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร โดยหากสัมประสิทธิ์การย่อยอาหารสูงก็จะส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลานิลสูงตามไปด้วย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของนิรุทธิ์ (2544) แต่จากการทดลองดังกล่าวพบว่ามีความแตกต่างจากการทดลองนี้ โดยประสิทธิภาพการย่อยไขมันมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสูงขึ้น ผู้วิจัยให้ความเห็นว่าปลานิลอาจมีความสามารถในการย่อยไขมันที่ได้มาจากกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการศึกษาของ Al-Owafeir และ Belal (1996) ที่พบว่าปลานิลสามารถใช้น้ำมันปาล์มได้ดีกว่าน้ำมันถั่วเหลือง

มีรายงานการทดลองใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในปลานิล ซึ่งให้ผลการทดลองและสรุปถึงระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แนะนำให้ใช้แตกต่างกัน เช่น Omoregie และ Ogbemudia (1993) พบว่าการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ในอาหารปลานิลสามารถผสมได้ 15% โดยไม่ทำให้การเจริญเติบโตของปลาแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรพื้นฐานที่ใช้ปลาป่นเป็นส่วนประกอบซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองครั้งนี้ โดยปกติคุณภาพของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันจะขึ้นอยู่กับปริมาณเปลือกนอกของผลปาล์มที่ถูกแยกออกไป กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แยกกะลาออกทิ้งไป และบดส่วนที่เหลืออย่างละเอียด จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงตาถี่อีกครั้งหนึ่ง จึงทำให้คุณภาพของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ใช้อยู่ในเกณฑ์ดี โดยทั่วไปกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่นำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์จะมีโปรตีนอยู่ในช่วง 16-18% หากระดับของโปรตีนของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่ำถึง 13% และเยื่อใยสูงเกิน 20% แสดงว่าส่วนของเปลือกและเส้นใยของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันไม่ถูกแยกออกอย่างมีประสิทธิภาพ ในกากปาล์มที่มีเยื่อใยสูงจะทำให้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้มีพลังงานต่ำ มากกว่าครึ่งหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อใยคือกาแล็กโตแมนแนน (galactomannans) เช่น (1, 4)-D-mannan แนวทางที่จะปรับปรุงคุณภาพของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันให้สามารถนำไปใช้ผสมในอาหารสัตว์ได้มากขึ้น คือ การใช้เอนไซม์ ซึ่งจากหลายการทดลองโดย Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) และ Phromkunthong และคณะ (2001, 2002) พบว่า โรโนไซม์ (Ronozyme VP) ซึ่งเป็นเอนไซม์สังเคราะห์สกัดจากรา *Aspergillus aculeatus* ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารของปลานิล เมื่อได้รับวัตถุดิบที่ทดสอบ เช่น กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน และกากถั่วเหลือง โดยเอนไซม์นี้จะทำหน้าที่ตัดพันธะ β-1, 4 ของน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันแบบสุ่ม ทำให้เกิดน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็กพอที่ร่างกายจะนำไปใช้ประโยชน์ได้

สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้ต้องจำกัดปริมาณการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน คือ องค์ประกอบของกรดอะมิโน (amino acid profile) ในกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ทั้งในแง่ของความสมดุลและชนิดของกรดอะมิโนที่ย่อยได้มีอยู่ในปริมาณต่ำ โดยเฉพาะกรดอะมิโนจำเป็นของปลา ได้แก่ ไลซีน เมทไทโอนีน และทริปโตเฟน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการกินอาหารของปลาเพิ่มสูงขึ้นตามระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้นในอาหาร แสดงให้เห็นว่าในกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน อาจมีสารอาหารบางชนิด หรือกลิ่นที่ดึงดูดให้ปลายอมรับอาหารได้มากขึ้น

สำหรับส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลานิล พบว่าเมื่อผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้โปรตีนในซากมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารลดลงตามลำดับเมื่อผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารเพิ่มขึ้น (De Silva and Anderson, 1995) ในขณะที่ไขมันในซากมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ต่างจากการทดลองของนิรุทธิ์ (2544) ที่รายงานว่า ระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ผสมในอาหารไม่มีผลต่อส่วนประกอบทางโภชนาการของซากปลานิลทดลอง แม้ว่าปลาได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันผสมในระดับที่ต่างกัน แต่การเพิ่มระดับพลังงานในอาหารมีผลให้โปรตีนที่สะสมในตัวปลาลดลงและไขมันสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบเลือด ได้แก่ ฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน พลาสมาโปรตีน เม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปลาปกติ (Wedemeyer and Yasutake, 1977) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของกิจการและวัชรินทร์ (2530); Fagbenro (1994); Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) และนิรุทธิ์ (2544) แสดงว่าสูตรอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่ใช้ในการทดลองนี้มีความสมดุลของสารอาหาร แต่ต้องผสมในอาหารไม่เกิน 20% จึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร เช่นเดียวกับค่าดัชนีตับต่อตัวของปลานิลที่พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Fagenro (1994) Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) และนิรุทธิ์ (2544) โดยมีค่าไม่เกิน 2% แต่หากปลาได้รับอาหารที่มีสารอาหารไม่สมดุล เช่น จากการศึกษาของ De Silva และคณะ (1991) พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงาน (ไขมัน) สูง ทำให้ตับมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีตับต่อตัวสูงขึ้น โดยมีค่าสูงกว่า 2%

จากการคำนวณต้นทุนค่าอาหาร พบว่า มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการย่อยอาหาร โดยพบว่าสามารถผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลได้ไม่เกิน 20% โดยมีผลทำให้ต้นทุนสำหรับผลิตปลาต่ำที่สุด

สรุปผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโต สัมประสิทธิ์การใช้อาหารและประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิลลดต่ำลงเมื่อผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลในระดับที่สูงขึ้น

2. การผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับไม่เกิน 10% ส่งผลให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และสัมประสิทธิ์การย่อยอาหารของปลานิลที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 3-83 กรัม มีค่าสูงสุด และต่างกับสูตรควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

3. การผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับ 20% ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตปลาต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับอื่นๆ ที่ทดสอบ

4. การผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลไม่ส่งผลต่อสรีรวิทยาของปลานิล โดยทำให้ค่าองค์ประกอบเลือด และดัชนีตับต่อตัวอยู่ในเกณฑ์ปกติ

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2545. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ.2542. เอกสารฉบับที่ 10/2545. กองเศรษฐกิจการประมง กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กิจการ ศุภมาตย์ และ วัชรินทร์ รัตนชู. 2530. ผลการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำต่อองค์ประกอบเลือดในปลานิล (*Sarotherodon niloticus*). ว.สงขลานครินทร์ วทท. 9: 471-477.

นิรุทธิ์ สุขเกษม. 2544. ผลของระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linn.).วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Al-Owafeir, M.A. and Belal, I.E.H. 1996. Replacing palm oil for soybean oil in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquacult. Res. 27: 221-224.

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

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Washington, DC: AOAC.

Blaxhall, P.C. and Daisley, K.W. 1973. Routine hematological methods for use with fish blood. J. Fish Boil. 5: 771-781.

Boonyaratpalin and Phromkunthong, W.2000. Effects of Ronozyme treated rice bran and oil palm meal on growth of sex reversed *Tilapia niloticus*. The sixth Roche Aquaculture Conference Asia Pacific (ed. B. Hunter) Bangkok, Thailand, September 29 2000, pp. 50-63.

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

De Silva, S.S., Gunasekera, R.M. and Smith, K.F. 1991. Interaction of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. Aquaculture 95: 305-318.

De Silva, S.S., and Anderson, T.A. 1995. Fish nutrition in aquaculture. London: Chapman & Hall.

Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11: 1-42.

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

Fagbenro, O.A. 1994. Dried fermented fish silage in diets for *Oreochromis niloticus*. Isr. J. Aquacult. -Bamidgeh 46: 140-147.

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

Halver, J.E. 1989. Fish Nutrition. 2nd. edn, New York: Academic Press.

Larsen, H.M. and Snieszko, S.F. 1961. Modification of the microhematocrit techique with trout blood. Trans. Am. Fish. Soc. 90: 345-356.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.

McDonald, P., Edward, R.A. and Greenhalgh, J.F.D. 1981. Animal Nutrition. London: Longman.

Omoregie, E. and Ogbemudia, F.I. 1993. Effect of substituting fish meal with palm kernel meal on growth and food utilization of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Isr. J. Aquacult.-Bamidgeh 45: 113-119.

Phromkunthong, W., Hunter, B. and Jangsutthivorawat, W. 2001. Effect of Ronozyme VP/W cocktail on performance of juvenile Nile tilapia and hybrid catfish fed commercial feeds. The seventh Roche Aquaculture Conference Asia Pacific. Bangkok, Thailand, November 28, 2001, pp. 50-63.

Phromkunthong, W., Vongyai, S. Nakachart, D. Chittiwan, V. Jangsutthivorawat, W. and Hunter, B. 2002. Digestibility Uplifts of Palm Kernel Cake and Soybean Meal Confined by Ronozyme VP in Sex-Reversed Black Tilapia (*Oreochromis niloticus*). The Eight Roche Aquaculture Conference Asia Pacific. Bangkok, Thailand, November 28, 2002, pp. 20-55.

Robinson, E.H. and Wilson, R.P. 1985. Nutrition and Feeding. **In** Channel Catfish Culture. (ed.C.S. Tucker) Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 15, pp.323-404. Amsterdam: Elsevier.

Stickney, R.R. 1979. Principles of Warmwater Aquaculture. New York: John Wiley & Sons.

Wedemeyer, G.A. and Yasutake, W.T. 1977. Clinical Methods for the Assessment of the Effects of Environmental Stress on Fish Health. U.S. Fish Wildl. Serv. Tech. Pap. 89: 1-18.

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