วารสารแก่นเกษตร
THAIJO
Content List Available at ThaiJo
Khon Kaen Agriculture Journal
Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

การทดแทนปลาป่นด้วยของเหลือใช้จากสัตว์บกในอาหารสำหรับปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linn.) แปลงเพศที่เลี้ยงในกระชัง

Replacement of fish meal with rendered animal protein in practical diets for sex reversal Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.) under cage culture system

สาวิตรี ศิลาเกษ[1]*, ดาราวรรณ ยุทธยงค์[2], นเรศ นาเมืองรักษ์[3] และ จูอะดี พงศ์มณีรัตน์[4]

Sawitri Silakes[1]*, Darawan Yuttayong[2], Nared Namueangrakt[3] and Juadee Pongmaneerat[4]

[1] *ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดขอนแก่น ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000*
[1] *Khon Kaen Inland Aquaculture Research and Development Center. Nai-Mueang, Mueang, KhonKaen 40000*
[2] *กองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ กรมประมง เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900*
[2] *Aquatic Animal Feed Research and Development Division. Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900*
[3] *ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอุดรธานี ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000*
[3] *Udon Thani Inland Aquaculture Research and Development Center. Makkeng, Mueang, Udon Thani 41000*
[4] *กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ถนนราชดำเนินนอก เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200*
[4] *Ministry of Agriculture and Cooperatives. Ratchadamnoen Road, PhraNakhon, Bangkok 10200*

บทคัดย่อ: ศึกษาผลการทดแทนปลาป่นด้วยของเหลือใช้จากสัตว์บกในอาหารสำหรับปลานิลแปลงเพศที่เลี้ยงในกระชังที่แขวนในบ่อดิน วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 แฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือปัจจัยที่ 1 สูตรอาหาร มี 3 สูตร ได้แก่ สูตรใช้ปลาป่น 10%, สูตรใช้เศษไก่ป่นผสมเศษหมูป่นทดแทนปลาป่นทั้งหมดในสูตรอาหาร (w/w) และสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ส่วนปัจจัยที่ 2 คือ ความถี่ในการให้อาหารแบบให้วันละ 2 ครั้งหรือ 4 ครั้ง รวม 6 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยของปลาคือ 33 ± 0.02 กรัมต่อตัว เลี้ยงปลานาน 153 วัน ปลามีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 656.79 ± 42.46 กรัมต่อตัว ผลการทดลองไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย รวมถึงไม่พบอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัยต่อการเจริญเติบโต, อัตรารอดตาย, อัตราแลกเนื้อ, ประสิทธิภาพอาหาร, Condition factor, hepatosomatic index และ viscerosomatic index โดยปลาทุกชุดการทดลองมีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตร 1 มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่สูงที่สุด (P<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) และยังพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ความถี่ 2 ครั้ง/วัน มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 4 ครั้ง/วัน (P<0.05) การทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้เศษไก่ป่นผสมเศษหมูป่นทดแทนปลาป่นได้ทั้งหมด โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา และพบว่าความถี่ในการให้อาหารที่ 2 ครั้ง/วัน เป็นความถี่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศที่มีรูปแบบการเลี้ยงในลักษณะใกล้เคียงกับงานวิจัยครั้งนี้
คำสำคัญ: ปลานิล; แทนที่ปลาป่น; ของเหลือใช้จากสัตว์บก; หมูป่น; ไก่ป่น

ABSTRACT: Replacement of fish meal with rendered animal by-product in feed for sex reversal tilapia under cage culture system was evaluated. The experiment was conducted in 3 x 2 factorial in completely randomized design (CRD) to determine the effect of feed formula and feeding frequency. Six treatments combination of three different feed formulas (1. diet with 10% fish meal, 2. complete replacement of fish meal by mixing of poultry by-product meal and porcine meal and 3. commercial feed) and two different feeding frequencies (2 or 4 times daily) were tested with three replicates. The average initial weight of experimental fish was 33 ± 0.02 g/fish and after 153 days of trial, the average final weight of fish was 656.79 ± 42.46 g/fish. The results elucidated that interaction

* Corresponding author: sawitridof@gmail.com
Received: date; April 7, 2021 Accepted: date; September 28, 2021 Published: date; April 1, 2022

between feed formula and feeding frequency on tested parameters were not found. Growth performance, survival, FCR, feed efficiency, condition factor, hepatosomatic index and viscerosomatic index of fish were not significantly (P>0.05) different among fish fed diets with the various feed formula or feeding frequency. However, fish fed diet 1 had the highest percentage of fillet yield (P<0.05). While no significant difference (P>0.05) in percentage of fillet yield was found between fish fed rendered based diet and commercial diet. The fish fed 2 times/day exhibited higher percentage of fillet yield (P<0.05) than the fish fed at 4 times/day. These results suggested that fish meal can be totally replaced with the combination of poultry by-product meal and porcine meal in diet for sex reversal Nile tilapia without any adverse effects on growth performance, and twice daily feeding is recommended for Nile tilapia under similar culture condition to this study.
Keywords: Tilapia; fish meal replacement; rendered animal protein; poultry by-product meal; porcine meal

บทนำ

ปลานิล เป็นปลาที่มีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากเลี้ยงง่าย โตเร็ว ทนทานต่อโรค และเนื้อปลามีรสชาติดีเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ปัญหาในการเลี้ยงปลานิลคือ ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากค่าอาหารซึ่งเป็นต้นทุนหลัก (มากกว่า 50%) ในการผลิตสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ (El-Sayed, 1998) โดยทั่วไปอาหารสัตว์น้ำมีการใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก เนื่องจากปลาป่นมีโปรตีนสูงและมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ครบถ้วนเหมาะสม อีกทั้งเป็นแหล่งที่ดีของกรดไขมัน พลังงาน วิตามินและแร่ธาตุที่ดีกว่าแหล่งโปรตีนอื่น ๆ เช่น แหล่งโปรตีนจากพืช (Tacon, 1993; Sauvant et al., 2004; Lim et al., 2006) ปลาป่นยังได้รับความนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ชนิดอื่น ๆ เช่น โค กระบือ สุกร และสัตว์ปีก แต่เนื่องจากปริมาณปลาจากธรรมชาติมีจำนวนลดน้อยลง จึงมีการลดปริมาณการผลิตปลาป่นเพื่อเป็นการอนุรักษ์และใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด ทำให้ปลาป่นคุณภาพดีมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์จำเป็นต้องหาแนวทางเพื่อลดการใช้ปลาป่น โดยมีการศึกษาวิจัยเพื่อลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์โดยการใช้แหล่งวัตถุดิบโปรตีนอื่น ๆ ทดแทนการใช้ปลาป่น (Olsen and Hasan, 2012) เช่น ใช้แหล่งโปรตีนจากพืชหรือสัตว์ รวมทั้งวัตถุดิบเหลือใช้ต่าง ๆ จากอุตสาหกรรมเกษตร วัตถุดิบทดแทนปลาป่นที่น่าสนใจมากอีกกลุ่มหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มของเหลือใช้จากการแปรรูปสัตว์บก เช่น เนื้อและกระดูกป่น (meat and bone meal, MBM) เศษไก่ป่น (poultry by product meal, PBM) และเศษหมูป่น (porcine meal, PM) เป็นต้น โดยของเหลือใช้จากสัตว์บกเหล่านี้มีศักยภาพในการใช้แทนที่ปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ (Watanabe and Pongmaneerat, 1991; Bureau et al., 2000; Millamena, 2002; Wang et al., 2006) เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าปลาป่น มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูง มีปริมาณโปรตีนสูงและเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่ดีใกล้เคียงกับปลาป่น ถึงแม้ว่าวัตถุดิบเหล่านี้จะมีปริมาณกรดอะมิโนบางชนิด เช่น ไลซีนและเมไธโอนีนต่ำกว่าปลาป่น (Tacon and Jackson, 1985) แต่สามารถปรับสมดุลของกรดอะมิโนได้โดยการนำของเหลือใช้จากสัตว์บกผสมร่วมกันหลายชนิดหรือนำไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ (Davies et al., 1989) เพื่อให้อาหารมีชนิดและปริมาณกรดอะมิโนเหมาะสมกับสัตว์น้ำและทำให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตได้ตามปกติ เช่น การศึกษาของ Wang et al. (2008) ใช้เศษไก่ป่น เนื้อและกระดูกป่น ขนไก่ป่นและเลือดป่น ผสมให้เข้ากันและนำมาใช้ทดแทนปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ ในอาหารสำหรับปลาเก๋า Malabar โดยพบว่าสามารถใช้ของเหลือใช้จากสัตว์บกเป็นส่วนผสมในอาหารปลาเก๋าได้ แต่ในสูตรอาหารต้องประกอบไปด้วยปลาป่นในปริมาณไม่น้อยกว่า 25% ของสูตร ปลาจึงจะมีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (ปลาป่น 50%) ส่วนการศึกษาในปลา rainbow trout (ขนาด 16.7 ± 0.1 กรัม) พบว่าสามารถใช้เศษไก่ป่นผสมกับขนไก่ไฮโดรไลซ์และเลือดป่น (spray-dried) แทนที่ปลาป่นได้ในระดับ 75% และ 100% โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต (Lu et al., 2015) จะเห็นได้ว่าการนำของเหลือใช้จากสัตว์บกมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงปริมาณการใช้ที่เหมาะสมกับสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์น้ำแต่ละชนิดในแต่ละช่วงอายุมีความต้องการสารอาหารและมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน รวมถึงการศึกษาเรื่องความถี่ในการให้อาหารซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (Garcia and Villarroel, 2009; Thongprajukaew et al., 2017) งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนำของเหลือใช้จากสัตว์บกมาทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับปลานิลแปลงเพศที่เลี้ยงในกระชังร่วมกับการศึกษาผลของความถี่ในการให้อาหารที่แตกต่างกัน โดยดูผลการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ อัตรารอด ประสิทธิภาพโปรตีนของอาหาร การใช้ประโยชน์จากโปรตีน คุณภาพซาก และลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อ ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้คือช่วยลดต้นทุนการผลิตปลานิลและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยง ซึ่งเป็นการสร้างความมั่นคงให้กับอาชีพการเลี้ยงปลานิล อีกทั้งยังช่วยลดการทำลายทรัพยากรปลาในธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้อย่างไม่คุ้มค่าในการผลิตเป็นปลาป่นเพื่อเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติให้มีความยั่งยืน

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 แฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (3 x 2 factorial in completely randomized design) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือปัจจัยที่ 1 สูตรอาหาร มี 3 สูตร ได้แก่ 1. สูตรควบคุม (ปลาป่น 10%) 2. สูตรที่มีการใช้เศษไก่ป่นผสมเศษหมูป่น (1:1) ทดแทนปริมาณปลาป่นทั้งหมดในสูตรอาหาร (w/w) และสูตรที่ 3 อาหารผสมสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำสำหรับปลาดุกกลาง (โปรตีนไม่น้อยกว่า 30%) ส่วนปัจจัยที่ 2 คือความถี่ในการให้อาหาร มี 2 ความถี่ได้แก่ ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง (เวลา 10.30 และ 16.30 น.) และ ให้อาหารวันละ 4 ครั้ง (เวลา 7.30, 10.30, 13.30 และ 16.30 น.) รวมเป็น 6 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ

1. การเตรียมปลาทดลอง

นำปลานิลขนาดประมาณ 1 นิ้ว ที่เพาะพันธุ์ในรุ่นเดียวกันจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดขอนแก่น มาขุนเลี้ยงในกระชังทดลอง เพื่อให้ปลาคุ้นเคยกับการเลี้ยงในกระชัง ใช้อาหารปลาดุกผสมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 30% เลี้ยงปลาจนได้น้ำหนักประมาณ 25 - 35 กรัม จากนั้นคัดขนาดปลาทดลองโดยการสุ่มชั่งน้ำหนักปลา (body weight) ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละประมาณ 30 กรัม จำนวน 30 ตัว/หน่วยทดลอง (ปริมาตรน้ำในกระชัง 1 ลบ.ม.) รวมใช้ปลาทดลองทั้งหมดจำนวน 540 ตัว และทำการชั่งน้ำหนักรวมปลาในแต่ละหน่วยทดลอง จากนั้นสุ่มเก็บปลาที่เหลือจากชุดปลาที่คัดไว้ใช้ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี รวมถึงวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อปลา

2. การเตรียมกระชังทดลอง

เตรียมกระชังอวนโพลีเอทิลีนขนาดตา 3 ซม. ขนาดกระชัง 1 x 1 x 1.2 ม. จำนวน 18 กระชัง โดยแขวนกระชังให้จมน้ำระดับความลึก 1 ม. ใช้อวนมุ้งไนลอนสีฟ้าขนาด 16 ตา/นิ้ว กว้าง 40 ซม. บุกระชังด้านในให้ชายด้านล่างอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 ซม. เพื่อป้องกันอาหารออกนอกกระชัง วางกระชังในบ่อดินขนาด 1,600 ตร.ม. มีความลึกประมาณ 3 ม. พร้อมติดตั้งปั๊มลมและเดินสายอากาศลงไปในบ่อทดลองเพื่อเพิ่มออกซิเจนและติดตั้งเครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มการไหลเวียนของน้ำ

3. การเตรียมอาหารทดลอง

คำนวณสูตรอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร โดยควบคุมให้อาหารทุกสูตรมีค่าโปรตีนและพลังงานที่ใกล้เคียงกัน วัตถุดิบชนิดที่เป็นของเหลือใช้จากสัตว์บกต้องผ่านการทดสอบว่าไม่มีการปนเปื้อนของยาต่าง ๆ เช่น oxytetracycline, chlortetracycline, chloramphenicol, nitrofurans และ salbutamol เป็นต้น ค่าโภชนะของปลาป่น ไก่ป่น และหมูป่น แสดงไว้ใน **Table 1** วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนก่อนนำมาคำนวณสูตรอาหาร เพื่อควบคุมปริมาณโภชนะต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับความต้องการของปลานิล ทำการชั่งวัตถุดิบตามปริมาณของสูตรอาหารทดลองแต่ละสูตร **(Table 2)** แล้วนำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดลอยน้ำ และนำไปอบให้แห้ง เก็บอาหารที่ผลิตแล้วไว้ในที่แห้งอากาศถ่ายเทได้ดีเพื่อใช้เลี้ยงปลาทดลองต่อไป สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมี วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหาร เพื่อตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

Table 1 Nutrients composition of fish meal, poultry by-product meal and porcine meal

	Ingredients (As fed basis)		
	Fish meal	Poultry by-product meal	Porcine meal
Nutrients composition			
Moisture (%)	7.71	4.81	4.45
Crude protein (%)	58.51	60.14	55.38
Crude lipid (%)	8.83	11.40	13.10
Fiber (%)	0.86	0.90	1.13
Ash (%)	24.03	24.18	26.68

Table 2 Feed formula (%) and chemical composition of the experimental diets

Ingredients (%as fed basic)	Experimental diets		
	1	2	3[1/]
Fish meal	10	0	
Poultry by product meal	0	5	
Porcine meal	0	5	
Soybean meal	45	45	
Rice bran	5	5	
Corn meal	10	10	
Broken rice	22	22	
Fish oil	3	3	
Vitamin premix[2/]	0.25	0.25	
Mineral premix[3/]	0.25	0.25	
Ascorbic acid (active 97%)	0.5	0.5	
Monocalcium phosphate	1	1	
Husk mill	3	3	
Total	100	100	
Nutrients composition (dry matter basis)			
Crude protein (%)	34.12	34.54	33.22
Crude lipid (%)	3.92	3.90	9.26
Fiber (%)	2.78	3.00	4.15
Ash (%)	7.69	8.35	7.92
Calculated composition (dry matter basis)			
Nitrogen free extract (NFE, %)	43.17	44.06	44.46
Digestible energy[4/](DE, kcal/100 g)	441	438	462
Price (Baht/kg feed)	24	22	31.5

[1/]Commercial feed (catfish feed)

[2/]Provides per kg of diet: vitamin A 4,000 IU, vitamin D 2,000 IU, vitamin E 50 mg, vitamin K 10 mg, thiamine 10 mg, riboflavin 12 mg, pyridoxine 10 mg, choline chloride 700 mg, pantothenic acid 20 mg, niacin 60 mg, folic acid 2 mg and vitamin C 200 mg

[3/]Provides per kg of diet: manganese ($MnSO_4 \cdot H_2O$) 25 mg, zinc ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 100 mg, iron ($C_6H_5FeO_7 \cdot H_2O$) 60 mg, copper ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 3 mg, iodine (KI) 5 mg, selenium (Na_2SeO_3) 0.3 mg and cobalt ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 0.05 mg

[4/]Calculated digestible energy

4. การจัดการการทดลอง

เลี้ยงปลานิลแปลงเพศเป็นระยะเวลา 153 วัน ให้อาหารจนปลาอิ่มทุกวัน ตามวิธีการให้อาหารของแต่ละชุดการทดลอง บันทึกปริมาณอาหารที่ให้และจำนวนปลาในแต่ละกระชังทุกวัน ชั่งน้ำหนักของปลาทุกเดือน (น้ำหนักรวม) พร้อมทำความสะอาดกระชัง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการชั่งน้ำหนักรวมของปลาในแต่ละกระชัง จากนั้นชั่งน้ำหนักตัว (Body weight) และวัดความยาว (Total

length) ของปลาทุกตัวเพื่อคำนวณค่า condition factor จากนั้นสุ่มปลาในแต่ละกระชัง ๆ ละ 12 ตัว โดยแบ่งปลาจำนวน 4 ตัว เพื่อนำปลาไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และปริมาณกรดอะมิโน ส่วนอีก 4 ตัว นำไปศึกษาคุณภาพซากโดยนำปลาไปแล่เป็น 5 ส่วน คือ ส่วนหัว กระดูก ชิ้นเนื้อ เครื่องใน และไขมันของปลาแต่ละตัว เก็บตับและกล้ามเนื้อหลังจากปลาอีกจำนวน 4 ตัวที่เหลือเพื่อศึกษาด้านเนื้อเยื่อวิทยา (histology) โดยเก็บตัวอย่างชิ้นเนื้อดังกล่าวลงใน buffered formalin ความเข้มข้น 10% จากนั้นเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อโดยใช้ ethyl alcohol และ embedded ชิ้นเนื้อใน paraffin ตัดเนื้อเยื่อตัวอย่างให้มีความหนา 5 ไมครอน แล้วจึงย้อมสีสไลด์เนื้อเยื่อด้วยสี haematoxylin และ eosin (H&E) เพื่อนำมาศึกษาลักษณะเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ นำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (%weight gain) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain, ADG) อัตราการกินอาหาร (feed intake, FI) อัตราแลกเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) อัตรารอดตาย (survival) ประสิทธิภาพอาหาร (feed efficiency ratio, FER) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (apparent net protein utilization, ANPU) condition factor, viserosomatic index (VSI), hepatosomatic index (HSI), intraperitoneal fat (IPF) และ เปอร์เซ็นต์เนื้อแล่ (fillet yield) เก็บข้อมูลคุณสมบัติของน้ำในกระชังทดลองเดือนละ 2 ครั้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความกระด้างของน้ำ ความเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (DO) และแอมโมเนีย (NH_3) โดยค่า PER และ ANPU ใช้วิธีการคำนวณตามสูตรดังนี้

$$PER = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน}}$$

$$ANPU = \frac{\{(W_1 \times P_1) - (W_0 \times P_0)\}}{P} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)

W_0 = น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม)

P = น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน

P_1 = ร้อยละโปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

P_0 = ร้อยละโปรตีนในตัวปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

5. วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและเนื้อปลา ใช้วิธีของ AOAC (2010) ดังนี้ การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี macro-kjeldahl, ปริมาณไขมันโดยวิธี ether-extraction, ปริมาณความชื้นโดยวิธี oven-drying, ปริมาณเถ้าโดยวิธี muffle furnace combustion, ปริมาณเยื่อใยโดยวิธี acid-alkali digestion ส่วนชนิดและปริมาณกรดอะมิโนวิเคราะห์โดย HPLC, Accq. Tag amino acid analysis method, ค่า nitrogen free extracts (NFE) ใช้วิธีการคำนวณตาม Olvera-Novoa et al. (1994) ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) ใช้วิธีการคำนวณตาม NRC (1993) โดยมีสูตรดังนี้

% NFE = 100 – (%ความชื้น + %โปรตีน + %ไขมัน + %เยื่อใย + %เถ้า)

DE (kcal/100g) = (%โปรตีน x 3.5) + (%ไขมัน x 8.1) + (%คาร์โบไฮเดรต x 2.5)

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักปลา ปริมาณอาหารที่กิน และผลการวิเคราะห์ทางเคมีของอาหารทดลองและปลาทดลอง มาคำนวณผลการตอบสนองของปลาต่ออาหารทดลองแต่ละสูตร โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หาความแตกต่างของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s test ที่ระดับความเชื่อมั่น

95% ในการศึกษานี้ ข้อมูลที่เป็นร้อยละหรืออัตราส่วนจะนำไปแปลงข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ (normal distribution) และมีค่าความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน (homogeneity of variance) ก่อนนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Zar, 1996)

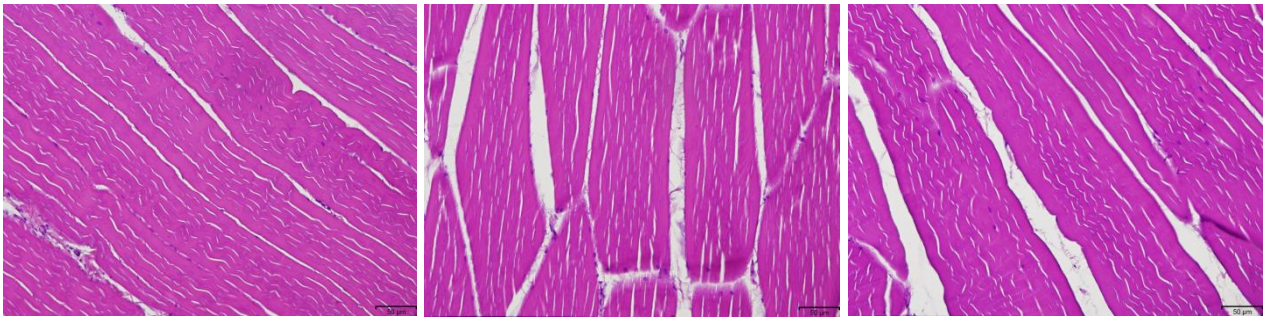
ผลการศึกษา

หลังการทดลองเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในกระชังเป็นระยะเวลา 153 วัน ด้วยอาหารทดลองที่ใช้วัตถุดิบแตกต่างกัน 3 สูตร และมีความถี่ในการให้อาหาร 2 ระดับ เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ อัตรารอดตาย **(Table 3)** และด้านประสิทธิภาพอาหาร ได้แก่ อัตราการกินอาหาร อัตราการกินอาหารต่อวัน ค่าประสิทธิภาพอาหาร ปริมาณโปรตีนที่กิน และค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน **(Table 4)** ของทั้ง 6 ชุดการทดลอง ผลการทดลองไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างสูตรอาหารและความถี่ในการให้อาหารต่อทุกพารามิเตอร์ดังกล่าว (P>0.05) รวมถึงไม่พบอิทธิพลของปัจจัยหลักคือทั้งสูตรอาหาร และความถี่ในการให้อาหาร (P>0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 ชุดการทดลอง มีค่าทั้งหมดข้างต้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าอิทธิพลของปัจจัยหลักสูตรอาหาร มีผลต่อค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิโดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (ปลาป่น 10%) มีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงที่สุดคือ 41.13 ± 1.01% (P<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีการใช้เศษไก่ป่นผสมหมูป่นทดแทนปลาป่นมีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำที่สุด คือ 38.73 ± 0.51% (P<0.05) และปลาที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปมีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิไม่แตกต่างจากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 (P>0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 40.26 ± 0.34% **(Table 4)**

ผลคุณภาพซากพบว่า ค่า Condition factor, hepatosomatic index และ viscerosomatic index ของปลานิลทั้ง 6 ชุดหลังเสร็จสิ้นการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยพบว่าทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย และอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัยไม่มีผลต่อค่าดังกล่าว (P>0.05) แต่พบว่าอิทธิพลของปัจจัยหลักคือสูตรอาหารและปัจจัยเรื่องความถี่ในการให้อาหารมีผลต่อค่า intraperitoneal fat และเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่ (P<0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม มีค่า intraperitoneal fat ต่ำที่สุด รองลงมาคือ สูตรที่ใช้เศษไก่ป่นผสมหมูป่น ส่วนสูตรที่ 3 ที่เป็นอาหารผสมสำเร็จรูปมีปริมาณค่า intraperitoneal fat ในปลาสูงที่สุด (P<0.05) และพบว่าปลาทดลองที่ได้รับอาหารที่ความถี่ 2 ครั้ง/วัน มีปริมาณของ intraperitoneal fat ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 4 ครั้ง/วัน (P<0.05) นอกจากนี้ยังพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่สูงที่สุด (P<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และอาหารสูตรที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) และยังพบว่าปลาทดลองที่ได้รับอาหารที่ความถี่ 2 ครั้ง/วัน มีปริมาณของเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 4 ครั้ง/วัน (P<0.05) (**Table 5**)

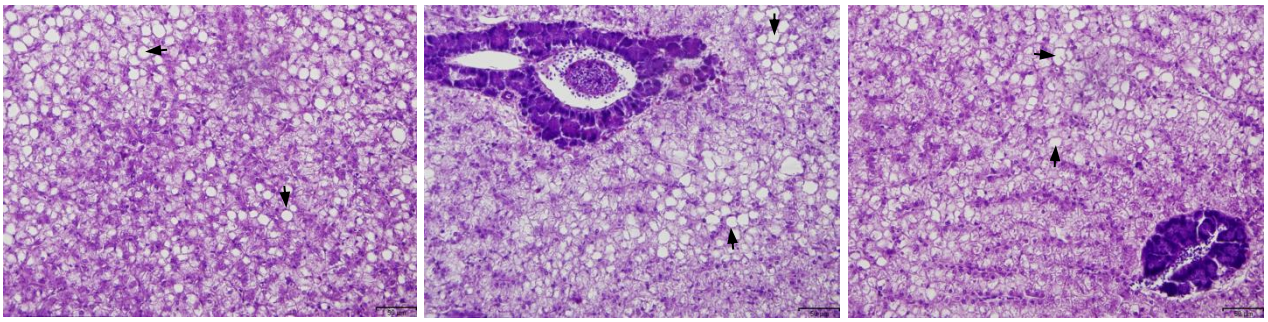
ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อปลาหลังสิ้นสุดการทดลองแสดงใน **Table 6** ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี cluster analysis พบว่า ปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อปลาหลังสิ้นสุดการทดลองของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ส่วนผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อส่วนหลัง (**Figure 1**) และตับ (**Figure 2**) ของปลานิลแปลงเพศทดลองพบว่า เนื้อเยื่อส่วนกล้ามเนื้อหลังของปลานิลทดลองทุกชุดมีสภาพปกติ โดยเส้นใยกล้ามเนื้อ รวมถึงเยื่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อมีลักษณะปกติ และไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนของลักษณะเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อส่วนหลังของปลานิลในแต่ละชุดการทดลอง ส่วนการศึกษาในเนื้อเยื่อตับพบว่า เซลล์ตับมีการสะสมไขมันมากกว่าปกติ (Vacuolization) ในทุกชุดการทดลอง ซึ่ง Vacuolization ที่พบในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณมากบ้างน้อยบ้างไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามไม่พบลักษณะผิดปกติอื่น ๆ ที่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างชุดการทดลองใด ๆ (**Figure 2**)

คุณสมบัติน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยพบว่าอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 25.6 - 29.5 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 6.54 - 7.98 มก./ล. ความโปร่งใส 27 - 31 ซม. ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.5 - 7.8 ความกระด้างของน้ำอยู่ในช่วง 150 - 200 มก./ล. ในรูป $CaCO_3$ ความเป็นด่างอยู่ในช่วง 70 - 95 มก./ล. ในรูป $CaCO_3$ และแอมโมเนียรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.04 - 0.12 มก./ล.



(a) (b) (c)

Figure 1 Dorsal muscle of Nile tilapia fed each 3 different feed formulas (a) 10% Fish meal feed, (b) 10% porcine meal + poultry by-product meal feed and (c) catfish feed (commercial feed).



(a) (b) (c)

Figure 2 Liver of Nile tilapia fed each 3 different feed formulas (a) 10% Fish meal feed, (b) 10% porcine meal + poultry by-product meal feed and (c) catfish feed (commercial feed). Vacuolization (marked with arrows) was found in the liver of fish fed all 3 feed formulas.

Table 3 Final weight, weight gain, average daily weight gain (ADG), Feed conversion ratio (FCR) and survival of Nile tilapia fed each 3 different feed formulas and 2 different feeding frequencies for 153 days (mean ± SEM)

Treatment	Feed Formula	Frequency (time/day)	Initial weight (g)	Final weight (g)	Weight gain (%)	ADG (g/fish/day)	FCR	Survival (%)
1	10% FM	2	33.00 ± 0.03	653.67 ± 22.44	1,881.05 ± 67.40	4.08 ± 0.15	1.18 ± 0.04	100 ± 0.00
2	10% FM	4	33.00 ± 0.03	660.81 ± 27.00	1,902.67 ± 80.94	4.13 ± 0.18	1.20 ± 0.03	100 ± 0.00
3	10% PM + PBM	2	32.99 ± 0.01	662.83 ± 27.19	1,909.16 ± 82.13	4.14 ± 0.18	1.19 ± 0.00	100 ± 0.00
4	10% PM + PBM	4	32.99 ± 0.02	682.35 ± 34.57	1,968.39 ± 104.99	4.27 ± 0.23	1.22 ± 0.03	100 ± 0.00
5	Catfish feed	2	33.01 ± 0.03	650.75 ± 33.83	1,871.41 ± 101.49	4.06 ± 0.22	1.24 ± 0.01	100 ± 0.00
6	Catfish feed	4	32.99 ± 0.02	630.34 ± 8.46	1,810.64 ± 25.71	3.93 ± 0.06	1.23 ± 0.02	100 ± 0.00
	Pooled means							
	10% FM		33.00 ± 0.01	657.24 ± 15.78	1,891.86 ± 47.35	4.11 ± 0.10	1.19 ± 0.02	100 ± 0.00
	10% PM+PBM		32.99 ± 0.01	672.59 ± 20.15	1,938.77 ± 61.07	4.21 ± 0.13	1.28 ± 0.02	100 ± 0.00
	Catfish feed		33.00 ± 0.01	640.55 ± 16.25	1,841.03 ± 48.75	4.00 ± 0.11	1.24 ± 0.01	100 ± 0.00
		2	33.00 ± 0.01	655.75 ± 14.22	1,887.20 ± 42.79	4.10 ± 0.09	1.20 ± 0.02	100 ± 0.00
		4	32.99 ± 0.01	657.84 ± 14.94	1,893.6 ± 45.20	4.11 ± 0.10	1.22 ± 0.01	100 ± 0.00
Two- way Analysis of Variance								
	Feed Formula		ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Frequency		ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Feed type X Frequency		ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = Non significantly different.

FM: Fish meal, PM: Porcine meal, PBM: Poultry by-product meal

Table 4 Feed intake, daily feed intake, Feed efficiency ratio (FER), Protein intake, protein efficiency ratio (PER) and apparent net protein utilization (ANPU) of Nile tilapia fed each 3 different feed formulas and 2 different feeding frequencies for 153 days (mean ± SEM)

Treatment	Feed Formula	Frequency (times/day)	Feed Intake (g/fish)	Daily Feed Intake (%)	FER	Protein Intake (g protein/fish)	PER	ANPU
1	10% FM	2	731.16 ± 17.34	1.40 ± 0.04	0.85 ± 0.03	249.47 ± 5.92	2.49 ± 0.08	42.63 ± 1.43
2	10% FM	4	753.71 ± 31.84	1.43 ± 0.03	0.83 ± 0.02	257.17 ± 10.86	2.44 ± 0.06	39.62 ± 0.91
3	10% PM + PBM	2	746.51 ± 30.66	1.41 ± 0.00	0.84 ± 0.00	254.72 ± 10.46	2.47 ± 0.01	39.32 ± 0.09
4	10% PM + PBM	4	789.35 ± 22.31	1.45± 0.03	0.82 ± 0.02	269.33 ± 7.61	2.41 ± 0.06	38.14 ± 0.97
5	Catfish feed	2	766.60 ± 41.96	1.47 ± 0.02	0.81 ± 0.01	261.56 ± 14.32	2.36 ± 0.02	39.95 ± 0.40
6	Catfish feed	4	736.16 ± 17.35	1.46 ± 0.02	0.81 ± 0.01	251.18 ± 5.92	2.38 ± 0.03	40.57 ± 0.57
	Pooled means							
	10% FM		742.43 ± 16.98	1.42 ± 0.02	0.84 ± 0.02	253.32 ± 5.79	2.47 ± 0.05	41.13 ± 1.01[a]
	10% PM + PBM		767.95 ± 19.47	1.43 ± 0.02	0.83 ± 0.01	262.02 ± 6.64	2.44 ± 0.03	38.73 ± 0.51[b]
	Catfish feed		751.38 ± 21.42	1.47 ± 0.01	0.81 ± 0.01	256.37 ± 7.31	2.37 ± 0.02	40.26 ± 0.34[ab]
		2	748.10 ± 16.63	1.43 ± 0.02	0.83 ± 0.01	255.25 ± 5.67	2.44 ± 0.03	40.63 ± 0.66
		4	759.74 ± 14.57	1.45 ± 0.01	0.82 ± 0.01	259.22 ± 4.97	2.41 ± 0.03	39.44 ± 0.55
Two- way Analysis of Variance								
Feed Type			ns	ns	ns	ns	ns	*
Frequency			ns	ns	ns	ns	ns	ns
Feed type X Frequency			ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns and * = Non significantly different and significantly different at P<0.05, respectively. Values within same column with different superscripts are statistically different.

FM: Fish meal, PM: Porcine meal, PBM: Poultry by-product meal

Table 5 condition factor, hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI), intraperitoneal fat (IPF) and fillet yield of Nile tilapia fed each 3 different feed formulas and 2 different feeding frequencies for 153 days (mean ± SEM)

Treatment	Feed Formula	Feeding Frequency (time/day)	Condition Factor	HSI (%)	VSI (%)	IPF (%)	Fillet yield (%)
1	10% FM	2	2.17 ± 0.03	1.44 ± 0.08	5.18 ± 0.25	2.11 ± 0.25	49.04 ± 0.59
2	10% FM	4	2.17 ± 0.05	1.39 ± 0.13	5.01 ± 0.15	2.66 ± 0.21	47.38 ± 0.36
3	10% PM + PBM	2	2.12 ± 0.03	1.57 ± 0.11	5.01 ± 0.26	2.91 ± 0.30	46.67 ± 0.37
4	10% PM + PBM	4	2.06 ± 0.03	1.55 ± 0.10	4.46 ± 0.27	3.23 ± 0.27	45.66 ± 0.28
5	Catfish feed	2	2.13 ± 0.04	1.70 ± 0.14	4.98 ± 0.26	4.30 ± 0.53	46.79 ± 0.54
6	Catfish feed	4	2.15 ± 0.02	1.30 ± 0.08	4.96 ± 0.28	4.67 ± 0.43	46.72 ± 0.62
	Pooled means						
	10% FM		2.17 ± 0.03	1.42 ± 0.07	5.09 ± 0.14	2.38 ± 0.17^{a}	48.14 ± 0.36^{b}
	10% PM + PBM		2.09 ± 0.02	1.56 ± 0.07	4.74 ± 0.19	3.07 ± 0.20^{b}	46.17 ± 0.25^{a}
	Catfish feed		2.14 ± 0.02	1.50 ± 0.09	4.97 ± 0.19	4.49 ± 0.34^{c}	46.76 ± 0.35^{a}
		2	2.14 ± 0.02	1.57 ± 0.06	5.05 ± 0.14	3.11 ± 0.26^{a}	47.47 ± 0.34^{b}
		4	2.13 ± 0.02	1.41 ± 0.06	4.81 ± 0.14	3.52 ± 0.23^{b}	46.57 ± 0.26^{a}
	Two- way Analysis of Variance						
	Feed Type		ns	ns	ns	**	**
	Frequency		ns	ns	ns	*	*
	Feed type X Frequency		ns	ns	ns	ns	ns

ns, * and ** = Non significantly different, significantly different at P<0.05 and 0.01, respectively. Values within same column with different superscripts are statistically different.

FM: Fish meal, PM: Porcine meal, PBM: Poultry by-product meal

Table 6 Amino acid (%/weight) in the experimental fish fed each 3 different feed formulas and 2 different feeding frequencies for 153 days.

Amino acid (%/weight)	Amino acid (%/weight) in experimental fish					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Alanine	1.08	1.10	1.06	1.28	1.24	1.25
Arginine*	1.28	1.28	1.13	1.43	1.48	1.56
Aspartic acid	1.87	1.93	1.85	2.15	2.21	2.21
Cystine	0.07	0.08	0.08	0.11	0.13	0.12
Glutamic	2.90	2.99	2.87	3.47	3.57	3.63
Glycine	1.18	1.20	1.17	1.41	1.25	1.30
Histidine*	0.66	0.68	0.66	0.77	0.74	0.77
Isoleucine*	0.43	0.46	0.42	0.58	0.68	0.70
Leucine*	1.15	1.18	1.09	1.32	1.50	1.51
Lysine*	1.48	1.53	1.42	1.72	1.88	1.84
Methionine*	0.56	0.56	0.53	0.62	0.66	0.67
Phenylalanine*	0.58	0.60	0.57	0.71	0.77	0.78
Proline	0.62	0.63	0.61	0.73	0.71	0.73
Serine	0.76	0.77	0.76	0.88	0.90	0.92
Threonine*	0.69	0.71	0.67	0.85	0.86	0.90
Tyrosine	0.34	0.35	0.32	0.44	0.54	0.57
Valine*	0.49	0.52	0.48	0.66	0.72	0.79

* Essential amino acids for Nile tilapia (Santiago and Lovell, 1988).

T1: 10% fish meal (FM) and feeding frequency 2 times/day

T2: 10% fish meal (FM) and feeding frequency 4 times/day

T3: 10% porcine meal (PM) + poultry by-product meal (PBM) and feeding frequency 2 times/day

T4: 10% porcine meal (PM) + poultry by-product meal (PBM) and feeding frequency 4 times/day

T5: catfish feed and feeding frequency 2 times/day

T6: catfish feed and feeding frequency 4 times/day

วิจารณ์

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถใช้เศษไก่ป่นผสมเศษหมูป่นทดแทนปริมาณปลาป่นได้ทั้งหมดในสูตรอาหารสำหรับปลานิลแปลงเพศที่เลี้ยงในกระชัง โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ และอัตรารอดของปลา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ El-Sayed (1998) ที่รายงานว่า สามารถใช้เศษไก่ป่นทดแทนปลาป่นในสูตรอาหาร (โปรตีน 30%) สำหรับลูกปลานิลน้ำหนักเริ่มต้น 12.5 กรัม ได้โดยไม่พบความแตกต่างด้านการเจริญเติบโต ($P>0.05$) แต่พบว่าค่าอัตราแลกเนื้อและค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิในกลุ่มที่มีการใช้ของเหลือใช้จากสัตว์บกแทนที่ปลาป่นจะไม่ดีเท่ากับกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม ($P<0.05$) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ Hernández et al. (2010) ที่มีการใช้เศษไก่ป่น เศษหมูป่น ปลาป่น และอาหารผสมสำเร็จรูปเลี้ยงลูกปลานิลวัยรุ่น (น้ำหนัก 9.5 กรัม)

เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยพบว่า ปลาที่กินอาหารสูตรเศษไก่ป่นมีผลการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์จากอาหารไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรปลาป่น ($P>0.05$) ในขณะที่ปลาที่กินอาหารสูตรเศษหมูป่นมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าชุดควบคุม ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากชุดที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูป และทุกชุดการทดลองมีอัตรารอดและอัตราแลกเนื้อที่ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) จึงได้สรุปว่าเศษไก่ป่นและเศษหมูป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีประสิทธิภาพในการใช้ทดแทนปลาป่นทั้งหมดในอาหารสำหรับปลานิลวัยรุ่นได้ การที่สามารถใช้เศษไก่ป่นผสมเศษหมูป่นทดแทนปลาป่นได้ทั้งหมดในอาหารสำหรับปลานิลนั้น เนื่องมาจากของเหลือใช้จากสัตว์บกกลุ่มเศษไก่ป่นและหมูป่นนี้มีปริมาณโปรตีนสูงและมีชนิดของกรดอะมิโนจำเป็นที่ครบถ้วน (Tacon, 1993) โดยมีเพียงกรดอะมิโนบางตัวที่มีปริมาณต่ำกว่าปลาป่นเล็กน้อย (Yang et al., 2004) และมีค่าการย่อยได้ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับปลาป่น (Bureau et al., 2000) โดยค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนและพลังงานของเศษไก่ป่น (pet food grade) ของลูกปลานิลมีค่าสูงถึง 98.1% และ 92.3% และเศษหมูป่นมีค่า 87.1% และ 79.4% ตามลำดับ (Hernández et al., 2010) จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ อัตรารอด และค่าประสิทธิภาพอาหารต่าง ๆ เมื่อเทียบกับปลาที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่น มีรายงานการวิจัยในการใช้กลุ่มของเหลือใช้จากสัตว์บกเพื่อทดแทนปลาป่นทั้งแบบแทนที่ทั้งหมดและแบบแทนที่เพียงบางส่วนในอาหารสำหรับปลานิล (Tacon et al., 1983; Davies et al., 1989; Bishop et al., 1995; Rodriguez-Serna et al., 1996) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในระยะสั้นและเป็นการเลี้ยงในอาคารแบบระบบปิด จึงทำให้ผลการศึกษามีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก (El-Sayed, 1998) นอกจากนี้ผลการศึกษาการนำของเหลือใช้จากสัตว์บกชนิดต่าง ๆ ไปใช้ในอาหารสำหรับสัตว์น้ำ บางคณะผู้วิจัยได้รายงานว่าสามารถใช้ของเหลือใช้จากสัตว์บกในอาหารปลาได้ไม่เกิน 300 กรัม/กิโลกรัมอาหาร (Watanabe and Pongmaneerat, 1991; Robaina et al., 1997; Bureau et al., 2000; Kureshy et al., 2000) และมีรายงานถึงระดับการแทนที่ปลาป่นที่แตกต่างหรือสูงกว่านั้นด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์น้ำที่ต่างชนิดกัน ทั้งในปลาแซลมอน (Yang et al., 2004) ปลา sea bream (Nengas et al., 1999) ปลา channel catfish (Sadiku and Jauncey, 1995) ปลาไน (Hasan et al., 1993) ปลา cuneate drum (Wang et al., 2006) กุ้งขาว (Hernádez et al., 2008) ปลาเก๋า (Wang et al., 2008) ปลา African catfish (Falaye et al., 2011) เพราะถึงแม้กลุ่มวัตถุดิบของเหลือใช้จากสัตว์บกจะมีโปรตีนสูง (Tacon, 1993) ไม่มีสารต้านโภชนะ (anti-nutritional factors) มีกลิ่นหอมและมีความน่ากิน อีกทั้งยังราคาถูกและหาได้ง่ายกว่าปลาป่น (EL-Sayed, 1999) แต่ยังมีข้อจำกัดคือ ของเหลือใช้จากสัตว์บกบางชนิดมีกรดอะมิโนจำเป็นในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปลาป่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Lysine, Isoleucine และ methionine (NRC, 1993; Tacon and Jackson, 1985) ทำให้สัตว์น้ำบางชนิดโดยเฉพาะชนิดที่ต้องการโปรตีนในปริมาณสูงยังจำเป็นต้องมีการใช้ปลาป่นในสูตรอาหาร แต่หากมีการใช้วัตถุดิบเหลือใช้เหล่านี้หลากหลายชนิดในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมจะสามารถสร้างสมดุลกรดอะมิโนจำเป็นในอาหารและทำให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตที่เป็นปกติได้ (Davies et al., 1989) โดยในการทดลองครั้งนี้มีการใช้เศษไก่ป่นและเศษหมูป่นผสมกันในอัตราส่วน 1:1 และพบว่าการเจริญโตของปลานิลทดลองที่ได้รับอาหารสูตรนี้ไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม จึงแสดงให้เห็นว่าการใช้เศษไก่ป่นผสมกับเศษหมูป่นในอัตราส่วนดังกล่าวสามารถช่วยสร้างสมดุลกรดอะมิโนและมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแปลงเพศ ซึ่งมีรายงานการวิจัยผลการใช้ของเหลือใช้จากสัตว์บกหลายชนิดผสมกันเพื่อเพิ่มอัตราการใช้แทนที่ปลาป่น และเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เช่น การใช้เศษเนื้อป่นผสมเลือดป่นสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้ถึง 80% โดยไม่เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด และอัตราแลกเนื้อในลูกปลาเก๋า (*Epinephelus coioides*) (Millamena, 2002) Zhu et al. (2011) รายงานผลในการนำของเหลือใช้จากสัตว์บกหลายชนิดผสมกัน (เนื้อและกระดูกป่น 40%, เศษไก่ป่น 40% และขนไก่ไฮโดรไลซ์ 20%) ทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับลูกปลา Siberian sturgeon โดยไม่พบผลกระทบด้านการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และมีไขมันในตับในระดับที่ปกติ แต่พบการสะสมของไขมันค่อนข้างมากในส่วนเนื้อแดง นอกจากนี้ยังมีการใช้เศษไก่ป่นผสมกับขนไก่ไฮโดรไลซ์และเลือดป่น (spray-dried) แทนที่ปลาป่นในระดับ 75% และ 100% ในอาหารสำหรับ rainbow trout ซึ่งพบว่าสามารถใช้ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม พบว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน อัตราแลกเนื้อ และปริมาณอาหารที่กินในกลุ่มนี้ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม

อัตราการกินอาหารของสัตว์น้ำขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น สภาพสิ่งแวดล้อม ชนิดสัตว์น้ำ ชนิดของอาหารที่กิน ขนาดของอาหาร ขนาดปลา และความถี่ในการให้อาหาร (Santos and Jobling, 1995; Wang et al., 1998; Liu and Liao, 1999; Riche, 2000) ซึ่งความถี่ในการให้อาหารมีผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำของแหล่งเลี้ยง การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพ

อาหาร ผลจากการทดลองนี้พบว่า ความถี่ในการให้อาหารที่ 2 และ 4 ครั้ง/วัน ไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโต อัตรารอด อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร และคุณภาพซาก มีความแตกต่างกัน ยกเว้นเฉพาะค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่ และ intraperitoneal fat ที่การให้อาหารที่ความถี่ 4 ครั้ง/วัน จะมีค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อแล่ต่ำกว่า และมีปริมาณ intraperitoneal fat สูงกว่าปลากลุ่มที่ได้รับอาหารในความถี่ 2 ครั้ง/วัน โดยสอดคล้องกับรายงานผลการวิจัยของ Riche et al. (2004) ที่ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลที่น้ำหนักเริ่มต้น 34.4 กรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้ โดยพบว่าการเจริญเติบโต ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาที่มีการให้อาหารที่ความถี่ 2, 3 และ 5 ครั้ง/วัน ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่พบว่าปลาที่มีการให้อาหาร 3 ครั้ง/วัน มีปริมาณไขมันมากขึ้น และ crude protein ในปลาลดลง ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังมีการวิจัยของ Thongprajukaew et al. (2017) ที่รายงานว่าการให้อาหารปลานิลระยะ fingerling ในความถี่ 2 หรือ 3 ครั้ง/วัน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา และไม่พบว่าการทำงานของ digestive enzyme มีความแตกต่างกันเมื่อมีการให้อาหารในความถี่ที่ต่างกัน จึงแนะนำว่าการให้อาหารปลานิลที่ความถี่ 2 ครั้ง/วัน เป็นความถี่ที่มีความเหมาะสมในการจัดการการเลี้ยง เนื่องจากการให้อาหารหลายมื้อต่อวันเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าแรงงานในการเลี้ยงปลา อีกทั้งการให้อาหารปลาในปริมาณมากจะทำให้ระบบทางเดินอาหารของปลาทำงานหนักมากเกินไปและส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากอาหาร (Jobling, 1986) ถึงแม้จะมีรายงานว่าปลานิลเป็นปลาที่ชอบกินอาหารหลายมื้อต่อวัน เนื่องจากพิจารณาโดยหลักการทั่วไปในด้านพฤติกรรมการกินอาหาร ลักษณะทางกายภาพ และระบบการย่อยอาหารของปลานิล (Moriarty, 1973) รวมถึงผลการศึกษาเรื่อง gastric evacuation ที่รายงานว่าหลังจากที่ปลานิลกินอาหารจนอิ่มไปแล้วประมาณ 4 ชม. จึงจะกลับมามีความต้องการกินอาหารอีกครั้ง แต่หากอาหารที่ให้มีคุณภาพสูง และมีการให้อาหารที่สม่ำเสมอจะทำให้ช่วงเวลาที่ปลามีความต้องการกินอาหารมีช่วงที่ห่างขึ้นได้ (Riche et al., 2004) มีรายงานถึงความถี่ที่เหมาะสมในการให้อาหารปลานิลที่มีความหลากหลาย ได้แก่ 2, 3, 4 หรือ 6 ครั้ง/วัน (Tung and Shiau, 1991; Pouomogne and Ombredane, 2001; Jun et al., 2009; Daudpota et al., 2016) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น สายพันธุ์ของปลา ชนิดของอาหาร อายุของปลา และรูปแบบการเลี้ยง มีผลทำให้ความถี่ที่เหมาะสมในการให้อาหารปลามีความแตกต่างกัน (Thongprajukaew et al., 2017)

สรุป

วัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มของเหลือใช้จากสัตว์บก ได้แก่ เศษไก่ป่นผสมเศษหมูป่น สามารถใช้ทดแทนปลาป่นทั้งหมดในสูตรอาหารสำหรับปลานิลแปลงเพศที่มีขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเลี้ยงประมาณ 30 กรัมต่อตัว โดยความถี่ในการให้อาหารที่ 2 ครั้ง/วัน เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศที่มีรูปแบบการเลี้ยงในกระชังที่แขวนในบ่อดินได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร คุณภาพซาก และลักษณะของเนื้อเยื่อส่วนหลังและตับ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุภฎา คีรีรัฐนิคม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้คำแนะนำในการรายงานผลการศึกษาด้านเนื้อเยื่อ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดขอนแก่นและเจ้าหน้าที่กองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ กรมประมง ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2010. Official Methods of Analysis. 18th Edition, Revision 3. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

Bishop, C.D., R.A. Angus, and A. Watts. 1995. The use of feather meal as a replacement for fish meal in the diet of *Oreochromis niloticus* fry. Bioresources Technology. 54: 291–295.

Bureau, D.P., A.M. Harris, D.J. Beven, L.A. Simmons, P.A. Azevedo, and C.Y. Cho. 2000. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. Aquaculture. 181: 281–291.

Daudpota, A.M., G. Abbas, I.B. Kalhoro, S.S.A. Shah, H. Kalhoro, H. ur Rehman, and A. Ghaffar. 2016. Effect of feeding frequency on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) reared in low salinity water. Pakistan Journal of Zoology. 48: 171-177.

Davies, S.J., J. Williamson, M. Robinson, and R.I. Bateson. 1989. Practical inclusion levels of common animal by-products in complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*, Peters). pp. 325-332. In Proceeding of The Third International Symposium on Feeding and Nutrition in fish 28 August - 1 September 1989. Toba, Japan.

El-Sayed, A.F.M. 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*(L.), feeds. Aquaculture Research. 29: 275-280.

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

Falaye A.E., A. Omoike, E.K. Ajan, and O.T. Kolawole. 2011. Replacement of fishmeal using poultry offal meal in practical feeds for fry of the African catfish (*Clarias gariepinus*). The Israeli journal of aquaculture Bamidgeh. 63: 542-547.

Garcia, J.A., and M. Villarroe. 2009. Effect of feed type and feeding frequency on macrophage functions in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Fish and Shellfish Immunology. 27: 325-329.

Hasan, M.R., A.M. Akand, and A. Siddiqua. 1993. Studies on poultry offal meal and silk worm pupae meal as dietary protein sources for Indian major carp, *Catla catla* (Hamilton). Bangladesh Journal of Training and Development. 6: 55-66.

Hernández C., M.A. Olvera-Novoa, K. Aguilar-Vejar, B. González-Rodríguez, and I. Abdo de la Parra. 2008. Partial replacement of fish meal by porcine meat meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture. 277: 244-250.

Hernández C., M.A. Olvera-Novoa, R. Hardy, A. Hermosillo, C. Reyes, and B. González. 2010. Complete replacement of fish meal by porcine and poultry by-product meals in practical diets for fingerling Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: digestibility and growth performance. Aquaculture Nutrition. 16: 44-53.

Jobling, M. 1986. Gastrointestinal overload a problem with formulated feed. Aquaculture. 51: 257–263.

Jun, Q., W. Hui, L. Rui-Wei, and P. Jun. 2009. Effects of feeding frequency on growth, body biochemical composition and digestive enzymes of larvae and juvenile of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*). Journal of Zhanjiang Ocean University. 29: 79-83.

Kureshy, N., D.A. Davis, and C.R. Arnold. 2000. Partial replacement of fish meal with meat and bone meal, flash-dried poultry by product meal and enzyme-digested poultry by-product meal in practical diets for juvenile red drum. North American Journal of Aquaculture. 62: 266–272.

Lim, C.E., C.D. Webster, and M.H. Li. 2006. Chapter 15 Feeding Practices. P. 547-560. In: C. Lim and C.D. Webster. Tilapia Biology, Culture and Nutrition. Food Products Press, London, UK.

Liu, F., and I.C. Liao. 1999. Effect of feeding regimen on the food consumption growth and body composition in hybrid striped bass *Morone saxatilis* M. chrysops. Fisheries Science. 65: 513–519.

Lu, F., H. Yutaka, and S. Shuichi. 2015. Replacement of fish meal with rendered animal protein and plant protein sources on growth response, biological indices and amino acid availability of 3 rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fisheries Science. 81: 95-105.

Millamena, O.M. 2002. Replacement of fish meal by animal by–product meals in a practical diet for grow out culture of grouper *Epinephelus coioides*. Aquaculture. 204: 75–84.

Moriarty, D.J.W. 1973. The physiology of digestion of blue-green algae in the cichlid fish *Tilapia nilotica*. Journal of Zoology. 171: 25-40.

Nengas, L., M.N. Alexis, and S.J. Davies. 1999. High inclusion levels of poultry meals and related by products in diets for gilthead sea bream *Sparus aurata* L. Aquaculture. 179: 13-23.

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

Olsen, R.L., and M.R. Hasan. 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. Trends in Food Science and Technology. 27: 120–128.

Olvera-Novoa, M.A., C.A. Martinez Palacios, and E. Real de Leon. 1994. Nutrition of fish and crustaceans: a laboratory manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Mexico City.

Pouomogne, V. and D. Ombredane. 2001. Effect of feeding frequency of the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in earthen ponds. Tropicultura. 19: 147-150.

Riche, M.A. 2000. Effect of Phytic Acid on Nitrogen Retention in Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Dissertation, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA.

Riche, M., D.I. Haley, M. Oetker, S. Garbretcht, and D.L. Garling. 2004. Effect of feeding frequency on gastric evaculation and the return of appetitive tilapia *Oreohromis niloticus* (L.). Aquaculture. 234: 657–673.

Robaina, L., F.J. Moyano, M.S. Izquierdo, J. Socorro, J.M. Vergara, and D. Montero. 1997. Corn gluten meal and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream *Sparus aurata*: nutritional and histological implications. Aquaculture. 59: 157–347.

Rodriguez-Serna, M., M.A. Olvera-Novoa, and C. Carmona-Osalde. 1996. Nutritional value of animal by-product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fry. Aquaculture Research. 27: 67–73.

Sadiku, S.O.E., and K. Jauncey. 1995. Digestibility, apparent amino acid availability and waste generation potential of soybean flour: poultry meat meal blend based diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), fingerlings. Aquaculture Research. 26: 651-657.

Santiago, C.B. and R.T. Lovell. 1988. Amino acid requirement for growth of Nile tilapia. The Journal of Nutrition. 118: 1540-1546.

Santos D.J., and M. Jobling. 1995. Test of a food consumption model for the Atlantic cod. ICES Journal of Marine Science. 52: 209–219.

Sauvant, D., J.M. Perez, and G. Tran. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. 1st Edition. Wageningen Academic Publishers, Gelderland.

Tacon, A.G.J., K. Jauncey, A. Falaye, M. Pantah, MacGowenI, and E. Stafford. 1983. The use of meat and bone meal, hydrolyzed feather meal and soybean meal in practical fry and fingerling diets for *Oreochromis niloticus*.

pp. 356–365. In Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture 8-13 May 1983. Nazareth, Israel.

Tacon, A.G.J., and A.J. Jackson. 1985. Protein sources in fish feeds. In: Cowey CB, Nackie AM, Bell JG. Edition. Nutrition and Feeding in Fish. Academic Press, London.

Tacon, A.G.J. 1993. Feed Ingredients for Warmwater Fish: Fish Meal and Other Processed Feedstuffs. FAO Fisheries Circular. No. 856. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Thongprajukaew, K., S. Kovitvadhi, U. Kovitvadhi, and P. Preprame. 2017. Effects of feeding frequency on growth performance and digestive enzyme activity of sex-reversed Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Agriculture and Natural Resources. 51: 292-298.

Tung, P.H., and S.Y. Shiau. 1991. Effects of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*, O. aureus, fed different carbohydrate diets. Aquaculture. 92: 343-350.

Wang, N., R.S. Hayward, and D.B. Noltie. 1998. Effect of feeding frequency of food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. Aquaculture. 165: 261–267.

Wang, Y., J. Guo, D.P. Bureau, and Z.I. Cui. 2006. Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients in feeds for cuneate drum (*Nibea miichthioides*). Aquaculture. 252: 476–483.

Wang Y., L. Kai, H. Hua, Z. Zhou-Xin, and P.B. Dominique. 2008. Potential of using a blend of rendered animal protein ingredients to replace fish meal in practical diets for malabar grouper (*Epinephelus malabricus*). Aquaculture. 281: 113-117.

Watanabe, T., and J. Pongmaneerat. 1991. Quality evaluation of some animal protein sources for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Nippon Suisan Gakkaishi. 57: 495–501.

Yang, Y., S. Xie, Y. Cui, W. Lei, Y. Zhu, Y. Yang, and Y. Yu. 2004. Effect of replacement of dietary fish meal by meat and bone meal and poultry by-product meal on growth and feed utilization of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. Aquaculture Nutrition. 10: 289–294.

Zar, J. H. 1996. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall International Editions, London.

Zhu J., G. Gong, J. Wang, X. Wu, M. Xue, C. Niu, L. Guo, and Y. Yu. 2011. Replacement of fish meal with blend of rendered animal protein in diets for Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt), results in performance equal to fish meal fed fish. Aquaculture Nutrition. 17: 389-395.