

ผลของการใช้เนื้อในเมล็ดมะขามป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารในปลานิลแดง

Effects of Tamarind Seed Meal in Diets on Growth and Feed Efficiency in Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

นาริรัตน์ สิงห์โต¹ มหัทธนี ภิญโญ^{1, 2} และ อนรรักษ์ เขียวขจรเขต^{1, 2*}

Nareerat Singto¹, Mhattanee Phinyo^{1, 2} and Anurak Khieokhajonkhet^{1, 2*}

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

¹Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

²ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

²Center for Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

*Corresponding author: Email: anurakk@nu.ac.th

(Received: 6 July 2018; Accepted: 5 November 2018)

Abstract: This study was investigated the usage of tamarind seed meal (TSM) from the industrial factories processing. TSM was formulated to replace corn meal for red Nile tilapia on growth performance, feed, and nutrient utilization. The test diets were formulated with different levels of TSM from 0, 20, 40, 60, 80, and 100%. The initial fish had an average weight of 4.55 ± 0.02 g/ fish and fed with experimental diets for 10 weeks. The results showed that the fish fed diet 100% TSM replacement had the highest weight gain, SGR, rate of feed intake, feed utilization, FCR, PER, PPV and protein retention, but no significant differences with TSM80 and 90%. The hepatosomatic index was not significantly different at all test diets, however, viscerosomatic index was decreased in the high level of TSM. Feed efficiency, protein-, and lipid efficiency ratio were increased with the high levels of TSM. In addition, TSM inclusion had higher protein utilization than control diet, but protein retention was not the significant difference. The results of the present study indicated that TSM is able to substitute corn meal for 100% replacement that is a potential feedstuff for aquatic animals and can reduce the cost of producing aquatic animals for a lower price.

Keywords: Tamarind seed meal, growth performance, nutrient utilization, red tilapia

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เมล็ดมะขามซึ่งเป็นวัตถุดิบพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะขาม เพื่อทดแทนข้าวโพดป่นในอาหารปลานิลแดงที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และสารอาหาร โดยใช้เมล็ดมะขามป่น 6 ระดับ คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ปลานิลแดงมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 4.55 ± 0.02 กรัม/ตัว ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 10 สัปดาห์ จากการทดลองพบว่าอาหารผสมเมล็ดมะขามที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ การเก็บรักษาโปรตีนดีที่สุด โดยไม่แตกต่างกับระดับ 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับดัชนีที่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง สำหรับดัชนีอวัยวะภายในพบว่าไม่มีแนวโน้มลดลงเมื่อมะขามป่นสูงขึ้น ค่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และไขมัน มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของเมล็ดมะขามป่นมีการนำโปรตีนไปใช้ได้ดีกว่าชุดการทดลองควบคุม ส่วนการเก็บรักษาโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเนื้อในเมล็ดมะขามสามารถทดแทนข้าวโพดป่นได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ และสามารถลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำให้มีความคุ้มค่าได้

คำสำคัญ: เนื้อในเมล็ดมะขาม การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้สารอาหาร ปลานิลแดง

คำนำ

มะขาม หรือ tamarind (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชยืนต้นที่สามารถพบได้ทั่วไปในประเทศไทย และเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เมล็ดมะขามเป็นวัสดุพลอยได้จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะขามที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตเป็นอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ และเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต การสังเคราะห์โปรตีน และการสร้างมัดกล้ามเนื้อ (Zou *et al.*, 2018) เช่น ไลซีน และลิวซีน ซึ่งมีมากกว่าในเมล็ดเนื้อในข้าวโพด และข้าวโพดหมัก (Naves *et al.*, 2011; Mekanjuola and Moses, 2011) นอกจากนี้เมล็ดมะขามยังมีคุณสมบัติเป็นสารเภสัชกรรมที่ช่วยป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหาร (Bhadoriya *et al.*, 2011) ด้านมะเร็งในท่อไต และเซลล์ไต (Vargas-Olvera *et al.*, 2012) ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย รา พยาธิ และไวรัส (Nguta and Mbaria, 2013) ด้านทานการอักเสบ (Sole *et al.*, 2013) และอื่น ๆ มะขามจัดเป็นกลุ่มของพืชมีฝัก หรือ legumes ที่เป็นแหล่งของวัตถุดิบพืชที่มีสารต้านโภชนาการตัวอย่างเช่น แทนนิน ทริปซินอินฮิบิเตอร์ และซาโปนิน เป็นต้น (Achi, 2005) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากสารต้านโภชนาการเหล่านี้จะยับยั้งการทำงาน

เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเนื้อเยื่อในระบบทางเดินอาหาร ลดความอยากอาหาร อันนำไปสู่การลดลงของเจริญเติบโต เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุดิบเหล่านี้ผ่านกระบวนการเช่น การใช้ความร้อน การแช่น้ำ กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น กระบวนการหมักด้วยเอนไซม์ หรือ ยีสต์ก็จะสามารถลดระดับของสารต้านโภชนาการลงได้ (Boonyaratpalin *et al.*, 1998; Romarheim *et al.*, 2005;)

ปลานิลแดง (red tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย โดยพบว่าพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง มีพื้นที่การเพาะเลี้ยงและผลผลิตในลำดับต้น ๆ ของประเทศ เนื่องจากปลานิลแดงเป็นสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงง่าย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีส่งผลทำให้ปลานิลแดงโตไว ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (อนุรักษ์, 2561) มีเนื้อที่มียอดประกอบของไขมันสูงกว่าปลานิลดำ และอีกหลายชนิด จึงทำให้อปลานิลแดงมีคุณภาพสูงกว่า และให้ได้รับความนิยมต่อการบริโภคสูง Bashir and Suleiman (2018) ศึกษาการใช้เมล็ดมะขามทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองในปลานิล ผลการศึกษาพบว่าสามารถทดแทนได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ แต่พรทิศา และคณะ (2560) ที่ทำการศึกษาการใช้เมล็ดมะขามในอาหารปลานิลวัยอ่อน โดยอาหารผสมด้วย

เมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ ผลจากการทดลองพบว่าปลานิลสามารถใช้เมล็ดมะขามเพื่อการเจริญเติบโตได้สูงสุดเพียง 5 เปอร์เซ็นต์

อุปกรณ์และวิธีการ

จรรยาบรรณสัตว์ทดลอง ปลานิลแดงเป็นสัตว์น้ำทดลองที่ใช้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้งานทดลองนี้ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากคณะกรรมการสัตว์ทดลองของมหาวิทยาลัยนเรศวร รหัสข้อเสนอโครงการเลขที่ NU-AQ600603 ออกให้ ณ วันที่ 22 ธันวาคม 2560 โดยสัตว์ทดลองในระหว่างการดำเนินการทดลองได้รับการดูแลตามขั้นตอนการใช้สัตว์ทดลอง และสิทธิขั้นพื้นฐานที่สัตว์ทดลองควรจะได้รับจนสิ้นสุดการทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลอง ปลานิลแดงขนาดประมาณ 2-3 กรัมหรือความยาวลำตัวประมาณ 1 เซนติเมตร จากฟาร์มเอกชนในจังหวัดพิษณุโลก นำมาเลี้ยงและอนุบาลในถังขนาด 500 ลิตรที่มีออกซิเจนตลอดเวลา อุณหภูมิ น้ำ และแสงตามธรรมชาติ ลูกปลาได้รับอาหารชนิดปลากินพืชขนาดเล็กที่มีโปรตีนสูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 เวลา คือ 9.00 และ 16.00 นาฬิกา กินจนอิ่ม (apparent satiation) ในระหว่างการเลี้ยงกำหนดให้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน โดยใช้น้ำที่ปราศจากคลอรีนเพื่อเติมทดแทนให้ได้ระดับเดิม ปรับสภาพปลาทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์หรือเลี้ยงสัตว์น้ำทดลองจนได้ขนาดปลาเริ่มต้นที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 4.5 กรัมต่อตัว สุ่มปลาและปล่อยปลาจำนวน 20 ตัวต่อตู้ ที่มีขนาดความจุน้ำ 150 ลิตร ปิดด้วยพลาสติกสามด้านเพื่อป้องกันการรบกวน ติดตั้งหัวให้อากาศ โดยกำหนดชุดการทดลองแบบสุ่ม (random) จากนั้นสัตว์น้ำทดลองจะได้รับอาหารชุดควบคุมเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 3 วัน

การเตรียมวัตถุดิบ และอาหารทดลอง รวบรวมวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ ปลาป่น ปากกั่วเหลือง ข้าวโพด ปลายาว และแป้งสาลี จากนั้นร่อนวัตถุดิบอาหารทั้งหมดผ่านตะแกรงขนาดตา 30 เมช สำหรับเมล็ดมะขามได้รวบรวมจากกลุ่มแม่บ้านแปรรูปมะขามใน

จังหวัดเพชรบูรณ์ ทำความสะอาดเมล็ดมะขาม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง กระเทาะเปลือก คัดเลือกเฉพาะเมล็ดเนื้อในเพื่อบดละเอียด ผ่านตะแกรงร่อนและเก็บวัตถุดิบอาหารที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส วัตถุดิบอาหารทดลองทั้งหมดนำมาผสมเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการของ AOAC (1990) ประกอบด้วยความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ขณะที่ nitrogen free extract หรือ NFE ได้จากการคำนวณดังต่อไปนี้คือ 100 - (ความชื้น+โปรตีน+ไขมัน+เถ้า+เยื่อใย) นอกจากนี้เมล็ดเนื้อในมะขามนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโน (amino acid content) ด้วยเครื่อง HPLC-fluorescence detector (Agilent 1100 series, Germany)

อาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามในการทดลองครั้งนี้เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยโปรตีนจากข้าวโพด เนื่องจากมีองค์ประกอบของโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกันซึ่งประกอบด้วยอาหารทดลองจำนวนทั้งหมด 6 สูตรอาหารดังต่อไปนี้ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (หรือ TSM20-100%ตามลำดับ) เพื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่มีการผสมเมล็ดเนื้อในเมล็ดมะขาม (TSM0) วัตถุดิบอาหารทดลองถูกผสมตามสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 ด้วยเครื่องผสมอาหาร และอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง นอกจากนี้กำหนดให้อาหารทดลองมีระดับโปรตีนและระดับไขมัน (isoproteinous and isolipidic diets) ทุกสูตรอาหาร อาหารจำนวนทั้ง 6 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาการเจริญเติบโต และค่าดัชนีต่าง ๆ ในระหว่างการเลี้ยงปลาทดลองกำหนดให้มีการติดตามการเจริญเติบโตของปลานิลแดงทุก ๆ 2 สัปดาห์ ด้วยการชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมด น้ำหนักอาหารที่ปลากิน และจำนวนปลาที่เหลือตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์เพื่อคำนวณค่าการเจริญเติบโต ประกอบด้วย

Table 1. Composition of experimental diets (g/100 g)

Feed ingredients	Graded levels of tamarind seed meal					
	TSM0	TSM20	TSM40	TSM60	TSM80	TSM100
Fishmeal	7	7	7	7	7	7
Soybean meal	45.15	45.15	45.15	45.15	45.15	45.15
Corn meal	30	24	18	12	6	0
Tamarind seed meal	0	6	12	18	24	30
Broken rice	5	5	5	5	5	5
Wheat flour	5	5	5	5	5	5
Vitamin mix ¹	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mineral mix ²	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fish oil	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
Lysine	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Methionine	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	100	100	100	100	100	100

Proximate composition (%)

Crude protein	30.14 ± 0.58	30.22 ± 0.61	30.09 ± 0.97	29.94 ± 0.30	29.95 ± 0.69	30.66 ± 0.11
Crude fat	8.23 ± 0.18	8.45 ± 0.18	8.56 ± 0.24	8.23 ± 0.11	8.61 ± 0.37	8.36 ± 0.22
Fiber	2.40 ± 0.07	2.34 ± 0.03	2.23 ± 0.06	2.65 ± 0.10	2.75 ± 0.21	2.47 ± 0.08
Ash	5.31 ± 0.12	5.32 ± 0.24	5.35 ± 0.07	5.07 ± 0.09	5.23 ± 0.11	5.58 ± 0.14
Moisture	6.12 ± 0.26	12.03 ± 0.34	5.81 ± 0.19	9.49 ± 0.11	8.50 ± 0.17	2.16 ± 0.12

¹ Vitamin mixture (mg or IU/kg diet): A, 5,000 IU; D3, 1,000 IU; E, 5,000 mg; K, 2,000; B1, 2,500 mg; B2, 1,000 mg; B6, 1,000 mg; B12, 10 mg; inositol, 1000 mg; pantothenic acid, 3,000 mg; niacin acid, 3,000 mg; C, 10,000 mg; folic acid, 300 mg; biotin, 10 mg

² Mineral mixture (g/kg feed); calcium phosphate, 80; calcium lactate, 100; ferrous sulphate, 1.24; potassium chloride, 0.23; potassium iodine, 0.23; copper sulphate, 1.2; manganese oxide, 1.2; cobalt carbonate, 0.2; zinc oxide, 1.6; Magnesium chloride, 2.16; sodium selenite, 0.10

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม) \times 100}$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ} = \frac{\ln \text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น / ระยะเวลา (วัน) \times 100}$$

น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (average daily gain, กรัมต่อวัน)

$$\text{น้ำหนักตัวเฉลี่ย} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / ระยะเวลา (วัน)}$$

อัตราการรอดตาย (survival rate, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{อัตราการรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น \times 100}$$

การศึกษาค่าดัชนีน้ำหนักตัวต่อตับ อวัยวะภายใน และค่าปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาวของปลาทดลอง เมื่อการทดลองดำเนินสู่สัปดาห์ที่ 10 สุ่มปลาจำนวน 2 ตัวต่อตู้ หรือ 6 ตัวต่อชุดการทดลองเพื่อชั่งน้ำหนัก วัดความยาว ชั่งน้ำหนักอวัยวะภายในทั้งหมด และน้ำหนักตับเพื่อคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ค่าปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาว (condition factor, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ค่าปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาว} = \frac{\text{น้ำหนักปลา (กรัม) / ความยาว (ลูกบาศก์เซนติเมตร)} \times 100$$

ดัชนีน้ำหนักปลาต่อน้ำหนักตับ (hepatosomatic index, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ดัชนีน้ำหนักปลาต่อ} = \frac{\text{น้ำหนักปลา (กรัม) / น้ำหนักตับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตับ}} \times 100$$

ดัชนีน้ำหนักปลาต่อน้ำหนักอวัยวะภายใน (viscerosomatic index, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ดัชนีน้ำหนักปลาต่อ} = \frac{\text{น้ำหนักปลา (กรัม) / น้ำหนักอวัยวะภายใน (กรัม)}}{\text{อวัยวะภายใน}} \times 100$$

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้อาหาร

การศึกษากาใช้อาหารของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามป่นที่ระดับต่าง ๆ ด้วยการคำนวณปริมาณน้ำหนักอาหารทดลองที่ปลาใช้ในแต่ละชุดการทดลอง ดังต่อไปนี้

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR)

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม) / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กรัม)}}$$

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency, FE, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} = \frac{1}{\text{อัตราการเปลี่ยนเป็นเนื้อ}} \times 100$$

อัตราของประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency ratio, FER)

$$\text{อัตราของประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / โปรตีนน้ำหนักที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{โปรตีนน้ำหนักที่ปลากิน (กรัม)}}$$

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion efficiency, FCE, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น / น้ำหนักอาหารแห้ง} \times 100$$

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว และประสิทธิภาพการใช้อาหาร เมื่อการทดลองดำเนินถึงวันสิ้นสุดการทดลองให้สุ่มปลา (final fish) จำนวน 2 ตัวต่อตู้หรือ 6 ตัวต่อชุดการทดลองเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 1990) ของซากปลาทั้งตัวเปรียบเทียบกับซากปลาก่อนเริ่มการทดลอง (initial fish) และคำนวณประสิทธิภาพการใช้อาหารด้วยสูตรคำนวณดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}} \times 100$$

ประสิทธิภาพการใช้ไขมัน (lipid efficiency ratio, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักไขมันที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักไขมันที่ปลากิน (กรัม)}} \times 100$$

โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (protein productive value)

$$\text{โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์} = \frac{\text{โปรตีนปลาสุดท้าย (กรัม) - โปรตีนเริ่มต้น (กรัม)}}{\text{โปรตีนปลาสุดท้าย (กรัม) - โปรตีนเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

การสะสมโปรตีน (protein retention, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{การสะสมโปรตีน} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น (กรัม) / ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น (กรัม)} \times 100$$

การคำนวณราคาอาหาร เพื่อทราบราคาค่าต้นทุนอาหารที่ใช้สำหรับการทดลองในทุกชุดการทดลองสัดส่วนของอาหาร (ตารางที่ 1) จึงนำมาคำนวณกับราคาของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด และเพื่อศึกษาราคาอาหารต่อการทำให้ปลาที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (incident cost หรือ feeding cost)

ราคาอาหาร (total cost, บาทต่อกิโลกรัม)

ราคาอาหาร = ราคาวัตถุดิบอาหารต่อน้ำหนักวัตถุดิบอาหารที่กำหนดในสูตรอาหาร

ราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (feeding cost)

ราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น = [ราคาอาหาร/น้ำหนักอาหารที่ปลากิน]/น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น $\times 1,000$

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และโปรตีน เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ANOVA ด้วย CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษา

การศึกษากการทดแทนข้าวโพดป่นด้วยเมล็ดมะขามป่นที่ระดับต่าง ๆ คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเลี้ยงทดสอบในปลานิลแดงที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยประมาณ 4.5 กรัมต่อตัว เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ จากการทดลองพบว่า น้ำหนักที่เพิ่ม น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะพบว่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกับน้ำหนักสุดท้าย (ตารางที่ 2) โดยปลาที่ได้อาหารทดลอง TSM100 มีค่าดังกล่าวสูงที่สุดคือ 227.63 ± 54.19 เปอร์เซ็นต์ 0.15 ± 0.03 กรัมต่อตัว และ 1.68 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ต่อวันตามลำดับ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารทดลองชุดควบคุมมีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด

(69.84 ± 21.64 เปอร์เซ็นต์ 0.04 ± 0.01 กรัมต่อตัว และ 0.04 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวันตามลำดับ) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้อาหารผสมเมล็ดเนื้อในมะขามที่ระดับต่าง ๆ ในขณะที่ปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาว และดัชนีน้ำหนักปลาต่อน้ำหนักตับพบว่าการผสมเนื้อในมะขามป่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนดัชนีน้ำหนักต่ออวัยวะภายในพบว่าปลาที่ได้รับอาหาร TSM100 ค่าต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกับ TSM80 (7.07 ± 1.7 และ 7.73 ± 1.1 เปอร์เซ็นต์) อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารผสมเมล็ดเนื้อในมะขามพบว่าไม่มีความแตกต่างกันสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ 2)

ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์พบว่าปลาที่ได้รับอาหาร TSM60 เปอร์เซ็นต์มีการกินอาหารสูงที่สุด (18.28 ± 0.51 กรัมต่อตัว) และมีแนวโน้มลดลงที่ TSM80 และ 100 มีค่าเท่ากับ 17.77 ± 1.59 และ 17.46 ± 1.68 กรัมต่อตัวตามลำดับ (ตารางที่ 3) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหาร TSM100 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุดคือ 1.59 ± 0.24 เมื่อระดับของเนื้อในเมล็ดมะขามลดลงส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่เพิ่มขึ้นโดยปลาที่ได้รับอาหาร TSM0 มีค่าสูงที่สุด 3.66 ± 1.06 (ตารางที่ 3) โดยมีแนวโน้มที่ผกผันกับประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราของประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ โดยปลาที่ได้รับอาหาร TSM100 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงสุด (46.32 ± 9.90 , 0.45 ± 0.00 และ 2.53 ± 0.54 ตามลำดับ) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพการใช้สารอาหารของปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยเนื้อในเมล็ดมะขามป่น พบว่าปลาที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขาม TSM100 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ไขมัน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และการเก็บรักษาโปรตีนสูงกว่าทุกชุดการทดลองอื่น ๆ (6.10 ± 0.08 , 22.53 ± 0.28 , 53.57 ± 0.06 และ 28.78 ± 0.02 ตามลำดับ) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ($P < 0.05$)

Table 2. Growth parameters of red tilapia fed diet containing graded levels of tamarind seed meal¹

Growth parameters	Graded levels of tamarind seed meal (%)					
	TSM0	TSM20	TSM40	TSM60	TSM80	TSM100
Initial weight	4.55±0.05	4.55±0.05	4.57±0.03	4.53±0.06	4.53±0.03	4.57±0.06
Final weight	7.73±1.01 ^a	10.09±1.99 ^b	10.72±1.02 ^b	10.64±0.62 ^b	12.55±1.28 ^{bc}	14.94±2.28 ^d
Weight gain	69.84±21.64 ^a	122.14±46.22 ^b	134.81±2.4 ^b	134.73±11.87 ^b	176.53±27.62 ^{bc}	227.63±54.19 ^c
Average daily gain	0.04±0.01 ^a	0.08±0.03 ^b	0.09±0.01 ^{bc}	0.09±0.01 ^{bc}	0.11±0.02 ^{cd}	0.15±0.03 ^d
Specific growth rate	0.04±0.01 ^a	1.12±0.29 ^b	1.21±0.14 ^{bc}	1.22±0.07 ^{bc}	1.45±0.15 ^{cd}	1.68±0.23 ^d
Condition factor	2.31±0.33	2.44±0.59	2.11±0.25	1.84±0.43	2.51±0.58	2.13±0.03
Hepatosomatic index	0.72±0.3	0.79±0.2	0.74±0.3	0.77±0.1	0.82±0.2	0.72±0.1
Viscerosomatic index	8.95±0.8 ^b	8.95±0.9 ^b	8.98±0.7 ^b	8.91±1.8 ^b	7.73±1.1 ^{ab}	7.07±1.7 ^a
Survival rate	90±13.23	83.33±7.64	98.33±2.86	95±5.00	98.33±2.89	93.33±11.55

¹ Values are means ± S.D. of three replicates and values within the same row with different letters are significant difference ($P<0.05$, $n=3$)

Table 3. Feed and nutrients utilization of red tilapia fed varying levels of tamarind seed meal¹

Feed utilization	Graded levels of tamarind seed meal (%)					
	TSM0	TSM20	TSM40	TSM60	TSM80	TSM100
Total feed intake	12.28±1.65 ^a	17.09±0.52 ^{bc}	15.63±1.53 ^b	18.28±0.51 ^{bc}	17.77±1.59 ^{bc}	17.46±1.68 ^c
Feed conversion ratio	3.66±1.06 ^c	2.73±0.65 ^b	2.51±0.15 ^{ab}	2.86±0.33 ^{bc}	2.23±0.49 ^{ab}	1.59±0.24 ^a
Feed efficiency	29.32±10.18 ^a	38.22±1.00 ^{ab}	39.87±2.47 ^{ab}	35.27±4.11 ^{ab}	46.32±9.90 ^b	63.60±8.77 ^c
Feed efficiency ratio	0.21±0.01 ^a	0.27±0.01 ^{ab}	0.39±0.00 ^{bc}	0.32±0.00 ^{bc}	0.45±0.00 ^{cd}	0.58±0.00 ^d
Feed conversion efficiency	1.56±0.54 ^a	2.17±0.57 ^{ab}	2.11±0.13 ^{ab}	1.94±0.23 ^{ab}	2.53±0.54 ^{bc}	3.25±0.45 ^c
Nutrient utilization						
Protein efficiency ratio	1.52±0.03 ^a	2.58±0.07 ^{ab}	3.90±0.03 ^{bc}	3.71±0.02 ^{bc}	5.08±0.04 ^{cd}	6.10±0.08 ^d
Lipid efficiency ratio	5.67±0.12 ^a	9.35±0.24 ^{ab}	13.98±0.12 ^{bc}	13.56±0.07 ^{bc}	18.10±0.15 ^{cd}	22.53±0.28 ^d
Protein productive value	33.21±0.09 ^a	47.49±0.12 ^b	45.83±0.05 ^b	49.53±0.11 ^b	49.75±0.08 ^b	53.57±0.06 ^b
Protein retention	17.65±0.05 ^a	25.32±0.15 ^b	24.48±0.11 ^b	25.98±0.09 ^b	26.60±0.07 ^b	28.78±0.02 ^b

¹ Values are means ± S.D. of three replicates and values within the same row with different letters are significant difference ($P<0.05$, $n=3$)

ราคาอาหารที่ผสมด้วยเนื้อในเมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ พบว่ามีแนวโน้มราคาลดลงเมื่อระดับเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้นจากราคากิโลกรัมละ 16.02 บาทต่อกิโลกรัมในอาหาร TSM100 เปอร์เซ็นต์ ถึง 18.72 บาทต่อกิโลกรัมในอาหาร TSM0 เปอร์เซ็นต์ ราคาอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นพบว่าแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน ปลาที่

ได้รับอาหารสูตรควบคุมมีราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมสูงที่สุดคือ 87.85 บาทต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม และต่ำสุดในสูตร TSM100 เปอร์เซ็นต์ มีราคา 27.70 บาทต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 4)

Table 4. Economic analysis of red tilapia fed varying levels of tamarind seed

Experimental diets	Feeding cost	
	Total cost (Baht/kg diet)	Feeding cost (Baht/kg fish gain)
TSM0	18.72	87.85
TSM20	18.18	65.58
TSM40	17.64	45.30
TSM60	17.1	53.15
TSM80	16.56	37.75
TSM100	16.02	27.70

วิจารณ์

เมล็ดมะขามเป็นวัตถุดิบพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะขามเพื่อการค้าและการส่งออก โดยเฉพาะในเขตจังหวัดเพชรบูรณ์ที่มีการเพาะปลูกและการแปรรูปในปริมาณที่มากที่สุดของประเทศ โดยวัตถุดิบพลอยได้นี้ยังคงสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ วัตถุดิบพืชโดยเฉพาะกลุ่มของพืชมีฝัก หรือ legumes ส่วนใหญ่พบว่ามีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (non-digestible carbohydrate) เช่น อะราบีโนกาแลคแทน (arabinogalactan) สตาคโคไอโซส (stachyose) ซูโครส (sucrose) และราฟฟิโนส (raffinose) (Achi, 2005) โดยพบว่าแหล่งของคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีผลต่อความเครียดของทางเดินอาหาร ก่อให้เกิดอาการท้องอืด เพ้อ และลมในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factors) อื่น ๆ อีก เช่น ซาโปนิน (saponin) ทริปซินอินฮิบิเตอร์ (trypsin inhibitor) และแทนนิน (tannin) ที่ก่อให้เกิดความอยากอาหารลดลง อันนำไปสู่การเจริญเติบโตลดลง อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนเช่น การต้ม คั่ว หรือแช่น้ำก็จะสามารถลดสารต้านโภชนาการลงได้ (Romarheim *et al.*, 2005; Boonyaratpalin *et al.*, 1998)

การศึกษาองค์ประกอบของเคมีของเนื้อในเมล็ดมะขามที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ พบว่ามีองค์ประกอบของโปรตีนถึง 16.18 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 9.48 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนยังพบว่าเนื้อในเมล็ดมะขามยังมีองค์ประกอบของ

กรดอะมิโนทุกชนิดในปริมาณที่มากกว่าในเมล็ดเนื้อในข้าวโพด และข้าวโพดหมัก (ตารางที่ 5) จากการทดลองพบว่ากรดอะมิโนไลซีน และลิวซีนมีองค์ประกอบถึง 1,093 และ 1,184 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับซึ่งมีมากกว่าข้าวโพดทั้งสองชนิดถึง 22-28 และ 10-131 เท่าตามลำดับ กรดอะมิโนไลซีนถือเป็นกรดอะมิโนที่เป็นข้อจำกัดที่สำคัญลำดับต้น ๆ หรือ first limiting essential amino acid ของการผลิตอาหารสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอาหารที่มีองค์ประกอบของวัตถุดิบพืชในระดับสูง พบว่ามีไลซีนต่ำ (Hauler and Carter, 2001; NRC, 2011) เมื่อกล่าวถึงแนวความคิดของ ideal protein concept พบว่าระดับของไลซีนสามารถใช้เพื่อการทำนายความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นชนิดอื่น ๆ ได้ในปลา ระดับไลซีนที่เหมาะสมสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ที่มีต่อการใช้กรดอะมิโนจำเป็นเพื่อการสังเคราะห์ และเผาผลาญเพิ่มขึ้น (Adesola *et al.*, 2017; Kerr and Easter, 1995) จึงมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ การสะสมไนโตรเจนในตัวปลาเพิ่มขึ้น แต่ระดับของไขมันในตัวปลาลดลง (Furuya *et al.*, 2012; Marcouli *et al.*, 2006) ส่วนกรดอะมิโนลิวซีนพบว่าช่วยกระตุ้น mTOR pathway ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนในตับและกล้ามเนื้อในปลาเรนโบว์ เทราท์ ที่มี 4E-BP family (Anand and Gruppuso, 2006), S6K1 (Miao *et al.*, 2017) และ eIF4E (Anthony *et al.*, 2000) เป็นกลุ่มยีนที่เป็น transcription factors ของ mTOR Lansard *et al.* (2011) พบว่ากรดอะมิโนลิวซีนสามารถฟอสฟอริเลตไลโอโซมอลโปรตีนชนิด S6 ที่ทำหน้าที่กระตุ้น target of

Table 5. Proximate composition and amino acid content of tamarind seed meal

Proximate composition ¹		Essential amino acids (mg/100g)				Non-essential amino acids (mg/100g)			
	Percent		Tamarind	Corn ²	Ogi meal ³		Tamarind	Corn ²	Ogi meal ³
Crude protein	16.18 ± 0.96	Lysine	1,093	37.9	47.97	Aspartic acid	1,516	70.7	77.37
Crude lipid	9.48 ± 0.33	Valine	432	51.6	57.63	Glycine	821	41.7	39.80
Moisture	1.47 ± 0.32	Leucine	1,184	113	8.72	Alanine	905	79.2	36.38
Ash	1.47 ± 0.32	Isoleucine	692	36.3	22.32	Proline	801	99.4	93.25
Fiber	1.47 ± 0.16	Threonine	501	39.5	24.93	Tyrosine	550	ND	38.52
		Phenylalanine	705	81.1	46.40	Serine	814	44.6	33.75
		Arginine	675	79.4	31.88	Glutamic acid	2,303	79.2	138.08
		Histidine	386	38.1	14.59	Cysteine	481	ND	10.64
		Methionine	189	34.7	7.10				
		Tryptophan	130	15.8	3.20				

¹Values are means ± S.D. of three replicates

²whole kernel of corn which determined by Naves *et al.* (2011)

³Ogi is fermented powder producing from corn meal (Makanjoula and Moses, 2011)

ND is not determined

rapamycin (TOR) pathway ในตับของปลาเรนโบว์เทราท์ และในตับอ่อนของปลาคาร์พ จีเบล (Zou *et al.*, 2018) นอกจากนี้การเสริมลิซีนที่ระดับ 1.74 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการกระตุ้นการแสดงออกของยีน TOR ในตับปลา blunt snout bream (Ren *et al.*, 2015)

อาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามป่นที่ระดับเพิ่มขึ้นพบว่าส่งผลทำให้ปลานิลแดงมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นดังเห็นได้จากน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่มีระดับที่สูง (ตารางที่ 2) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประกอบด้วย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตรา ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (ตารางที่ 3) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม การทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นว่าระดับของเนื้อในเมล็ดมะขามป่นมีผลต่อการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นในเนื้อในเมล็ดมะขามป่นในระดับที่สูง และสามารถตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแดงได้เป็นอย่างดี โดยการศึกษาของ Bashir and Suleiman (2018) พบว่าเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการหมักสามารถทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ พรทิศา และคณะ (2560) ที่ทำการศึกษากการใช้เมล็ดมะขามในอาหารปลานิลวัยอ่อนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.6 กรัมต่อตัว โดยอาหารผสมด้วยเมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ ประกอบด้วยระดับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการทดลองพบว่าปลานิลสามารถใช้เมล็ดมะขามเพื่อการเจริญเติบโตได้สูงสุดเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดมะขามที่ยังคงมีเปลือกหุ้มเมล็ดพบว่ามีองค์ประกอบของเยื่อใย (Ochowu *et al.*, 2014) และแทนนินในระดับที่สูง โดยการศึกษาที่ใช้เมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่สามารถช่วยลดความเป็นพิษของแทนนินลดลงได้ (นฤมล, 2557)

สรุป

การศึกษากการใช้เนื้อในเมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ จำนวน 6 ระดับประกอบด้วย 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลานิลแดงเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ (TSM100) มีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และโปรตีนสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม (TSM0) นอกจากนี้ยัง

เป็นระดับที่มีราคาอาหารและราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต่ำที่สุด ดังนั้นเนื้อในเมล็ดมะขามจึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตอาหารปลาได้เป็นอย่างดี และสามารถลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง “การศึกษาการใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะขามป่นในอาหารปลานิลแดง” ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประเภททุนสร้างสถานภาพนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2560 เลขที่โครงการ 2560-วช(อ)(ทบ)/79/2560 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกงานทดลองเสร็จสิ้นสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

นฤมล อัครเทศมณี. 2557. โภชนศาสตร์และการให้อาหารปลา. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 206 หน้า.

พรทิตา ทองสนธิกาญจน์ ธนภัทร วรปัสสุ และ ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์. 2560. การเสริมเมล็ดมะขามในอาหารปลานิล. รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 10 วันที่ 29-31 พฤษภาคม 2560. พัทยา ชลบุรี.

อนุรักษ์ เขียวจระเขต. 2561. ผลของเศษปลาหมักต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและสารอาหารของปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). วารสารเกษตร 34(2): 287-296.

Achi, O.K. 2005. Traditional fermented protein condiments in Nigeria. African Journal of Biotechnology 4(13): 1612-1621.

Adesola, A.A., C.L.W. Jones and T.A. Shipton. 2017. Dietary lysine requirement of juvenile dusky

kob, *Argyrosomus japonicus*. Aquaculture Nutrition 24: 674-680.

Anand, P. and P.A. Gruppuso. 2006. Rapamycin inhibits liver growth during refeeding in rats via control of ribosomal protein translation but not cap-dependent translation initiation. Journal of Nutrition 136: 27-33.

Anthony, J.C., T.G. Anthony, S.R. Kimball, T.C. Vary and L. S. Jefferson. 2000. Orally administered leucine stimulates protein synthesis inskeletal muscle of postabsorptive rats in association with increased eIF4F formation. Journal of Nutrition 130: 139-145.

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

Bashir, A.Y. and B. Suleiman. 2018. Growth and feed utilization value of fermented *Tamarindus indica* L. seed in the diet of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 18: 905-911.

Bhadoriya, S.S., A. Ganeshpurkar, J. Narwaria, G. Rai and A.P. Jain. 2011. *Tamarindus indica*: extent of explored potential. Pharmacognosy Review 5(9): 73-81.

Boonyaratpalin, M., P. Suraneiranat and T. Tunpibal. 1998. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for the Asian seabass, *Lates calcarifer*. Aquaculture 161: 67-78.

Furuya, W.M., T.S. Graciano, L.V.O. Vidal, T.O. Xavier, L.D. Gongora, J.S. Righetti and V.R.B. Furuya. 2012. Digestible lysine requirement of Nile tilapia fingerlings fed arginine-to-lysine-balanced diets. Revista Brasileira de Zootecnia 41: 485-490.

- Hauler, R.C. and C.G. Carter. 2001. Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. *Reviews in Fisheries Science* 9: 133-163.
- Kerr, B.J. and R.A. Easter. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *Journal of Animal Science* 73: 3000-3008.
- Lansard, M., S. Panserat, E. Plagnes-Juan, K. Dias, I. Seilliez and S. Skiba-Cassy. 2011. L-leucine, L-methionine, and L-lysine are involved in the regulation of intermediary metabolism-related gene expression in rainbow trout hepatocytes. *Journal of Nutrition* 141: 75-80.
- Makanjuola, and O. Moses. 2011. Amino acid profile of powdered fermented maize meal (Ogi) fortified with powdered unfermented locust bean seeds (*Pakia biglobosa*). *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 11: 28-32.
- Marcouli, P. A., M.N. Alexis, A. Andriopoulou and J. Iliopoulou-Georgudak. 2006. Dietary lysine requirement of juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquaculture Nutrition* 12: 25-33.
- Miao, L. P., C. Yuan, X. Y. Dong, X. Y. Zhang, M. Y. Zhou and X. T. Zou. 2017. Effects of dietary L-arginine levels on small intestine protein turnover and the expression of genes related to protein synthesis and proteolysis of layers. *Poultry Science* 96: 1800-1808.
- Naves, M.M.V., M.V.L.de Castro, A.L. de Mendonca, G.G. Santos and M.S. Silva. 2011. Corn germ with pericarp in relation to whole corn: nutrient contents, food and protein efficiency, and protein digestibility-corrected amino acid score. *Food Science and Technology* 31: 264-269.
- Nguta, J.M. and J.M. Mbaria. 2013. Brine shrimp toxicity and antimalarial activity of some plants traditionally used in treatment of malaria in Msambweni district of Kenya. *Journal of Ethnopharmacology* 148: 988-992.
- NRC (National Research Council) 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Ochokwu I. J., L. U. Onyia and K. O. Ajjola. 2014. Effect of *Azanza garckeana* (Goron Tula) pulp meal inclusion on growth performance of *Clarias gariepinus* Broodstock (Burchell, 1822). *Nigeria Journal of Tropical Agriculture* 14: 134-146.
- Ren, M., Habte-Tsion, H.-M., B. Liu, L., Miao, X. Ge, J. Xie, H. Liang, Q. Zhou and L. Pan. 2015. Dietary leucine level affects growth performance, whole body composition, plasma parameters and relative expression of TOR and TNF- α in juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture* 448: 162-168.
- Romarheim, O.H., M.A. Aslaksen, T. Storebakken, A. Krogdahl and A. Skrede. 2005. Effect of extrusion on trypsin inhibitor activity and nutrient digestibility of diets based on fish meal, soybean meal and white flakes. *Archives of Animal Nutrition* 59: 365-375.
- Sole, S. S., B. P. Srinivasan and A. S. Akarte. 2013. Anti-inflammatory action of tamarind seeds reduces hyperglycemic excursion by repressing pancreatic β -cell damage and normalizing SREBP-1c concentration. *Pharmaceutical Biology* 51: 350-360.

- Vargas-Olvera, C.Y., D.J. Sanchez-Gonzalez, J.D. Solano, F.A. Aguilar-Alonso, F. Montalvo-Munoz, C. M. Martinez-Martinez, O. N. Medina-Campos and M. E. Ibarra-Rubio. 2012. Characterization of N-diethylnitrosamine-initiated and ferric nitrilotriacetate-promoted renal cell carcinoma experimental model and effect of a tamarind seed extract against acute nephrotoxicity and carcinogenesis. *Molecular and Cellular Biochemistry* 369: 105-117.
- Zou, T., S.P. Cao, W.J. Xu, D. Han, H.K. Liu, Y.X. Yang, J.Y. Jin, X.M. Zhu and S.Q. Xie. 2018. Effects of dietary leucine levels on growth, tissue protein content and relative expression of genes related to protein synthesis in juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III) . *Aquaculture Research* 49: 2240-2248.
-