วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.2) May – August 2022 บทความวิจัย

การใช้เลือดป่นทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเจริญเติบโตระยะอนุบาลปลานิลแดง (*Oreochromis* spp.)

Partial Replacement of Fish Meal with Blood Meal in Diet on Growth Performance for Nursing Red Tilapia (*Oreochromis* spp.)

ธัชพล การะเกตุ[1*] มินตรา ศีลอุดม[2] และ บัณฑิต ยวงสร้อย[3]

Thuchapol Karaket[1*], Mintra Seel-audom[2] and Bundit Yuangsoi[3]

[1] *ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร*

[2] *ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*

[3] *ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

[1] *Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University*

[2] *Department of Animal and Aquatic Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University*

[3] *Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University*

Received : 9 June 2021

Revised : 20 September 2021

Accepted : 21 September 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินความเป็นไปได้ในการใช้เลือดป่นทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับการอนุบาลลูกปลานิลแดงเพศผู้ล้วน 2 ขนาด คือ น้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม (S1) และ 4.50 กรัม (S2) ในตู้กระจกขนาด 150 ลิตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้อาหารที่มีการทดแทนปลาป่นด้วยเลือดป่นที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (BM0, BM5, BM10 และ BM15) ตามลำดับ โดยมีสูตรอาหารที่ไม่ได้ทดแทนด้วยเลือดป่น (BM0) เป็นชุดควบคุม ซึ่งอาหารที่ใช้ในการทดลองทุกสูตรมีระดับของโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาขนาด S1 ที่ได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของเลือดป่นในทุกระดับมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) สำหรับปลาขนาด S2 ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร BM5 มีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และต้นทุนการผลิตไม่แตกต่างกันกับชุดควบคุม (p>0.05) แต่มีค่าสูงกว่าชุดการทดลอง BM10 และ BM15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ดังนั้นสามารถใช้เลือดป่นในการทดแทนปลาป่นที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสำหรับการอนุบาลปลานิลแดงระยะวัยรุ่น (S2) โดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้สูงสุดถึง 5 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ปลานิลแดง ; เลือดป่น ; การทดแทนปลาป่น ; การอนุบาล

Abstract

This feeding trial was conducted to evaluate the potential of replacing fish meal with blood meal in practical diets for nursing of all-male red tilapia (*Oreochromis* spp.). Two sizes of fish with an initial weight of 0.98 g (S1 size) and 4.50 g (S2 size) were raised in 150-L glass tanks for 8 weeks. Four experimental diets were prepared which fish meal was replaced by 0%, 5%, 10%, and 15% of blood meal (diets BM0, BM5, BM10, and BM15, respectively). A blood meal-free diet (BM0) was used as a control group. All experimental diets were formulated to contain 32% protein and 8% lipid. The results of the present study showed that the growth and feed efficiency of S1-size fish fed with diets containing blood meal was significantly lower than the control group ($p<0.05$). S2-size fish in the BM5 and the control group had no significant differences ($p>0.05$) in growth performance, feed efficiency, and costs but were significantly higher than the BM10 and BM15 groups ($p<0.05$). Therefore, blood meal can replace fishmeal at a 5% replacement level in practical diets of red tilapia juveniles (S2) without affecting the growth and decreasing production costs up to 5%.

Keywords : red tilapia ; blood meal ; fish meal substitute ; nursing

***Corresponding author. E-mail :** thuchapolk@nu.ac.th

บทนำ

อาหารสัตว์น้ำเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการกำหนดผลสำเร็จ และผลกำไรของเกษตรกรในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องด้วยการใช้อาหารสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำคิดเป็นต้นทุนการผลิตสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (Daniel, 2018) โดยองค์ประกอบหลักของการผลิตอาหารที่มีราคาสูง คือ ปลาป่นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางอาหารครบถ้วนสมบูรณ์ ทั้งกรดอะมิโนจำเป็น วิตามินและแร่ธาตุต่างๆ ความต้องการใช้ปลาป่นจึงมีมากขึ้นตามลำดับ แต่ปริมาณการผลิตนั้นลดลง และไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ราคาปลาป่นปรับตัวสูงขึ้น (Shepherd and Jackson, 2013; Oliva-Teles *et al*., 2015)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีการใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชและสัตว์อื่นๆ เพื่อนำมาทดแทนการใช้ปลาป่นอย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ยังคงมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณค่าทางอาหารที่ยังคงไม่เทียบเท่ากับปลาป่น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงด้วยโปรตีนทางเลือกยังด้อยกว่าการใช้ปลาป่นในอาหาร (Gasco *et al*., 2018) แต่เพื่อการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การค้นคว้าหาวัตถุดิบใหม่ๆ รวมถึงการศึกษาระดับที่เหมาะสมในการใช้กับสัตว์น้ำแต่ละชนิด เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจยังคงเป็นสิ่งสำคัญ

เลือดป่นเป็นหนึ่งในวัตถุดิบเหลือทิ้งจากโรงฆ่าสัตว์ (animal by-product) ที่มีคุณทางอาหารสูงโดยเฉพาะโปรตีน มีราคาถูก (Aladetohun and Sogbesan, 2013) และเป็นวัตถุดิบที่นิยมศึกษาเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารของปลาหลายชนิด เช่น ปลาเก๋า (Millamena, 2002) ปลายี่สกเทศ (Hussain *et al*., 2011) ปลากะพง (Nogueira *et al*., 2012) ปลาแซลมอน (Hatlen *et al*., 2015) ปลาจาระเม็ดขาว (Hamed *et al*., 2017) ปลาดุกแอฟริกัน (El-Husseiny *et al*., 2018) และปลาดุกลูกผสม (Aliu and Dako, 2018) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปลานิลซึ่งเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอันดับหนึ่งของโลก และของประเทศไทย (Department of Fisheries, 2020) แต่จากการศึกษาในงานวิจัยต่างๆ จะพบว่า ระดับของเลือดป่นที่สามารถทดแทนปลาป่นในอาหารได้นั้น มีอย่างหลากหลายตั้งแต่ 10-100 เปอร์เซ็นต์ (Chanrat *et al*., 2014; Ogello *et al*., 2014) ดังนั้น การใช้เลือดป่นเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างครบถ้วนในทุกๆ ด้าน

ปลานิลแดงเป็นปลาในกลุ่มเดียวกับปลานิลที่มีการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคจึงมีราคาสูงกว่าปลานิลทั่วไป ซึ่งในประเทศไทยนิยมเลี้ยงในกระชังในแม่น้ำเพื่อลดปัญหาการเกิดกลิ่นโคลน เกษตรกรนิยมนำปลาใบมะขามหรือลูกปลาขนาด 2-3 เซนติเมตร ภายหลังจากการแปลงเพศมาอนุบาลในบ่อดินจนกระทั่งลูกปลามีน้ำหนัก 30-50 กรัม จึงย้ายลงเลี้ยงในกระชังโดยใช้อาหารสำเร็จรูปเป็นหลัก แต่ก็มีเกษตรกรบางรายพยายามลดต้นทุนค่าอาหารโดยใช้อาหารเสริมหรือการผลิตอาหารเองในบางส่วน (Karaket *et al*., 2021)

การทดลองนี้จึงมุ่งเน้นทดสอบความเป็นไปได้ และระดับที่เหมาะสมในการใช้เลือดป่นทดแทนปลาป่นในอาหารเม็ดแบบผลิตเองในการเลี้ยงปลานิลแดงเพศผู้ล้วนระยะอนุบาลสองขนาด (S1 และ S2) ซึ่งเป็นขนาดของลูกพันธุ์ปลานิลแดงที่เกษตรกรรายย่อยนิยมนำมาอนุบาลในบ่อดินจนได้ขนาดที่ต้องการแล้วนำไปจำหน่ายต่อ (เกษตรกรจะนิยมเรียกว่า การทำปลาไซด์) หรือนำไปเลี้ยงเป็นปลาเนื้อ เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการผลิตอาหารใช้เองภายในฟาร์มได้อย่างคุ้มค่า

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมปลาทดลอง

ลูกปลานิลแดงเพศผู้ล้วนสองขนาด ได้แก่ น้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม (S1) และ 4.50 กรัม (S2) ขนาดละ 500 ตัว จากฟาร์มเอกชนที่ได้รับมาตรฐานฟาร์ม GAP ในจังหวัดพิษณุโลก นำมาเลี้ยงเพื่อปรับสภาพเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ในถังพลาสติกขนาด 500 ลิตร ที่มีการให้อากาศตลอดเวลา มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์แรก ส่วนในสัปดาห์ที่สองจะเปลี่ยนมาให้อาหารทดลองในชุดควบคุมที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงการปรับสภาพจะให้อาหารวันละ 3 ครั้ง เพื่อให้ลูกปลามีความคุ้นเคยกับอาหารที่จะใช้ทดลอง

การเตรียมอาหารทดลอง

การเตรียมเลือดหมูป่น นำเลือดหมูสดจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองพิษณุโลก กรองผ่านผ้าขาวบางเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนใส่ถาดขนาด 40×60 เซนติเมตร ถาดละ 2 ลิตร อบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส นาน 96 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดเป็นผง ส่วนวัตถุดิบอื่น ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด และปลายข้าว นำมาร่อนผ่านตะแกรง (sieve) ขนาด 30 เมช (mesh) แล้วนำวัตถุดิบทุกชนิดไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ตามวิธีการของ AOAC (2000) เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบสูตรอาหารทดลอง (ตารางที่ 1 และ 2) โดยกำหนดให้อาหารทดลองทุกสูตรมีระดับโปรตีนและไขมันใกล้เคียงกัน คือ โปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ แล้วมีการทดแทนปลาป่นด้วยเลือดป่นที่ระดับ 5 (BM5), 10 (BM10) และ 15 (BM15) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นชุดควบคุม (BM0)

การประกอบอาหารทดลองแต่ละสูตร ชั่งวัตถุดิบแต่ละชนิดตามปริมาณในตาราง 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน เติมน้ำสะอาด 35 เปอร์เซ็นต์ แล้วอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร นำเม็ดอาหารที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นานประมาณ 48 ชั่วโมง แบ่งอาหารแต่ละสูตร 100 กรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จากนั้นบรรจุอาหารทดลองลงในถุงพลาสติกแล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้สำหรับการทดลอง

การวางแผนการทดลองและการดำเนินการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ทั้ง 2 การทดลอง มีชุดการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ คือ สูตรอาหารที่มีการทดแทนปลาป่นด้วยเลือดป่นที่ระดับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (BM5, BM10 และ BM15) ตามลำดับ ส่วนสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นชุดควบคุม (BM0)

การดำเนินการทดลองนำปลานิลแดงแต่ละขนาดที่ผ่านการปรับสภาพแล้วลงเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 150 ลิตร ใส่น้ำสะอาดที่ไม่มีคลอรีน 100 ลิตร โดยการทดลองที่ 1 ใช้ลูกปลานิลแดงเพศผู้ล้วนขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม (S1) ความหนาแน่น 40 ตัวต่อตู้ ส่วนการทดลองที่สองใช้ลูกปลานิลแดงเพศผู้ล้วนขนาดเริ่มต้น 4.50 กรัม (S2) ความหนาแน่น 20 ตัวต่อตู้ โดยมีการให้อากาศตลอดเวลา และให้อาหารในแต่ละชุดการทดลองวันละ 3 ครั้ง มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และวัดความยาวปลาทดลองด้วยไม้บรรทัดก่อนเริ่มการทดลอง ในระหว่างการทดลองทุกๆ สองสัปดาห์ และภายหลังเสร็จสิ้นการทดลองในสัปดาห์ที่ 8 โดยในระหว่างการทดลองมีการจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ พร้อมตรวจนับจำนวนปลา แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณค่าการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ดังสมการ

(1) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain) = น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) - น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม)

(2) น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (average daily gain, กรัม/ตัว/วัน) = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)/ ระยะเวลา (วัน)

(3) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, เปอร์เซ็นต์) = [(ln น้ำหนักสุดท้าย – ln น้ำหนักเริ่มต้น)/ ระยะเวลา (วัน)] x 100

(4) อัตราการรอดตาย (survival rate, เปอร์เซ็นต์) = (จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง/ จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น) x 100

(5) ปริมาณอาหารที่ปลากิน (feed intake, FI) = น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)/ ระยะเวลา (วัน)

(6) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency, FE, เปอร์เซ็นต์) = (1/ อัตราการเปลี่ยนเป็นเนื้อ) x 100

(7) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) = น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)/ น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กรัม)

(8) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/ โปรตีนที่กินตลอดการทดลอง (กรัม)

การคำนวณราคาอาหาร

นำสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในอาหารแต่ละสูตร (ตารางที่1) และราคาของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิดมาคำนวณราคาของอาหารแต่ละสูตร และค่าอาหารต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (incident cost หรือ feeding cost) ดังนี้

(1) ค่าอาหาร (feeding cost, Baht/ kg) = ราคาวัตถุดิบอาหาร (Baht/kg)/ วัตถุดิบอาหาร ในสูตรอาหาร (kg)

(2) ค่าอาหาร (feeding cost) = [(ราคาอาหาร ÷ น้ำหนักอาหารที่ปลากิน)/ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น] x 1,000

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการรอดตาย และค่าอาหารที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป R (R Core Team, 2016)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางโภชนศาสตร์ของวัตถุดิบอาหาร (เปอร์เซ็นต์)

วัตถุดิบ	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	ความชื้น	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต*
ปลาป่น	44.61	8.70	2.80	10.96	29.10	3.83
เลือดหมูป่น	82.82	0.65	0.45	4.81	4.07	7.20
กากถั่วเหลือง	42.83	0.70	10.40	10.45	7.10	26.52
รำละเอียด	14.11	19.30	14.70	10.87	8.00	33.02
ปลายข้าว	10.79	9.54	0.09	8.75	0.42	70.41

*NFE (nitrogen free extract) = 100 - (% moisture + % protein + % fat + % ash + % fiber)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบ และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

องค์ประกอบ	สูตรอาหาร			
	BM0	BM5	BM10	BM15
วัตถุดิบ (กิโลกรัม)				
ปลาป่น	20	19	18	17
กากถั่วเหลือง	22	22	22	22
รำละเอียด	12	12	12	12
ปลายข้าว	11	12	14	16
เลือดป่น	0	1	2	3
Vitamin premix[1]	0.3	0.3	0.3	0.3
Mineral premix[2]	0.3	0.3	0.3	0.3
น้ำมันปลา	0.2	0.2	0.2	0.2
องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)				
โปรตีน	32.26	32.51	32.43	32.36
ไขมัน	7.99	7.90	7.83	7.76
เถ้า	12.75	12.19	11.48	10.82
เยื้อใย	7.02	6.89	6.65	6.43
พลังงาน (GE, call/ 100g)[3]	3,923.86	3,954.12	3,994.37	4,033.14

[1]Vitamin premix (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 premix (g/kg feed) ; calcium phosphate, 80; calcium lactate, 100; ferrous sulfate, 1. 24; potassium chloride, 0.23; potassium iodine, 0.23; copper sulfate, 1.2; manganese oxide, 1.2; cobalt carbonate, 0.2; zinc oxide, 1.6; magnesium chloride, 2.16; sodium selenite, 0.10 [3]คำนวณจาก GE = (% crude proteinx5.64) + (% crude fatx9.44) + (% NFEx4.11)

ผลการวิจัย

การศึกษาการใช้ประโยชน์จากเลือดป่นทดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ คือ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (ชุดการทดลอง BM0, BM5, BM10, และ BM15 ตามลำดับ) ในการอนุบาลลูกปลานิลแดงสองขนาด (S1 และ S2) เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า

1) ลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม (S1)

ลูกปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร BM0 มีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายสูงสุด โดยมีค่าน้ำหนักสุดท้าย (6.19±0.18 กรัม/ตัว) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (5.21±0.18 กรัม/ตัว) น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย (0.09±0.00 กรัม/ตัว/วัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (3.07±0.05 เปอร์เซ็นต์) และอัตราการรอดตาย (86.67±2.89 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับลูกปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร BM5 ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับลูกปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร BM10 และ BM15 ($p<0.05$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม (S1) ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	สูตรอาหาร			
	BM0	BM5	BM10	BM15
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	0.98±0.00	0.98±0.01	0.98±0.01	0.98±0.01
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	6.19±0.18^{a}	6.10±0.10^{a}	5.71±0.19^{b}	5.25±0.05^{c}
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	5.21±0.18^{a}	5.12±0.11^{a}	4.73±0.18^{b}	4.27±0.05^{c}
น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว/วัน)	0.09±0.00^{a}	0.09±0.00^{a}	0.08±0.00^{b}	0.07±0.00^{c}
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์)	3.07±0.05^{a}	3.04±0.04^{a}	2.93±0.05^{b}	2.79±0.03^{c}
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	2.76±0.21^{b}	3.22±0.24^{a}	3.33±0.10^{a}	3.34±0.25^{a}
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.59±0.07^{d}	1.89±0.12^{c}	2.11±0.03^{b}	2.34±0.15^{a}
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (เปอร์เซ็นต์)	62.96±2.67^{a}	53.13±3.36^{b}	47.33±0.77^{c}	42.76±2.66^{c}
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	1.97±0.08^{a}	1.66±0.10^{b}	1.48±0.02^{c}	1.34±0.08^{c}
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	86.67±2.89^{a}	83.33±2.89^{a}	76.67±2.89^{b}	75.00±5.00^{b}

* ตัวอักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ในส่วนของปริมาณอาหารที่ปลากิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของลูกปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร BM0 มีค่า 2.76±0.21 กรัม/วัน และ 1.59±0.07 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด โดยมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพการใช้อาหาร (62.96±2.67 เปอร์เซ็นต์) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (1.97±0.08) ที่มีค่าสูงสุด และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 3) โดยเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตต่อผลผลิตปลา 1 กิโลกรัม พบว่าต้นทุนของอาหาร BM0 มีค่าต่ำสุด (30.58±1.33 บาท) และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองอื่น โดยที่ต้นทุน

ค่าอาหารจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเลือดปนในสูตรอาหาร ทำให้ในการศึกษาครั้งนี้ชุดการทดลอง BM15 มีต้นทุนค่าอาหารสูงสุด คือ 40.78±2.56 บาท (ตารางที่ 5)

2) ลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม (S2)

การเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม ที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ มีรูปแบบใกล้เคียงกับการการเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม นั่นคือ ค่าน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของลูกปลาที่ได้รับอาหาร BM0 มีค่าสูงสุด คือ 23.42±0.59 กรัม/ตัว, 18.93±0.53 กรัม/ตัว, 0.32±0.01 กรัม/ตัว/วัน และ 2.75±0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) กับลูกปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร BM5 แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) กับลูกปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร BM10 และ BM15 สำหรับอัตราการรอดตายของลูกปลาในการทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยมีอัตราการรอดตายมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม (S2) ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	สูตรอาหาร			
	BM0	BM5	BM10	BM15
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	4.50±0.06	4.47±0.05	4.51±0.07	4.50±0.01
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	23.42±0.59^{a}	22.82±0.66^{ab}	22.28±0.53^{bc}	21.34±0.49^{c}
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	18.93±0.53^{a}	18.35±0.61^{ab}	17.76±0.47^{bc}	16.84±0.48^{c}
น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว/วัน)	0.32±0.01^{a}	0.31±0.01^{ab}	0.30±0.01^{bc}	0.28±0.01^{c}
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์)	2.75±0.02^{a}	2.72±0.03^{a}	2.66±0.02^{b}	2.59±0.04^{c}
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	4.29±0.06^{a}	4.31±0.11^{ab}	4.46±0.04^{bc}	4.54±0.09^{c}
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.36±0.02^{d}	1.41±0.01^{c}	1.51±0.03^{b}	1.62±0.02^{a}
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (เปอร์เซ็นต์)	73.54±1.08^{a}	70.92±0.50^{b}	66.38±1.11^{c}	61.86±0.59^{d}
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	2.30±0.03^{a}	2.22±0.02^{b}	2.07±0.03^{c}	1.93±0.02^{d}
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	91.67±7.64	90.00±5.00	90.00±5.00	83.33±2.89

* ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

สำหรับปริมาณอาหารที่ลูกปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ของลูกปลาที่ได้รับอาหาร BM0 มีค่าดีที่สุดเช่นกัน คือ 4.29±0.06 กรัม/วัน, 1.36±0.02, 73.54±1.08 เปอร์เซ็นต์ และ 2.30±0.03 ตามลำดับ โดยพบความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05) กับทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4) ในส่วนของต้นทุนการผลิตต่อผลผลิตปลา 1 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาภาพรวมจะเห็นว่าการผลิตปลาขนาด S2 มีต้นทุนลดต่ำลงกว่าการผลิตลูกปลาขนาด

S1 แต่ยังคงมีต้นทุนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเลือดป่นในสูตรอาหาร โดยชุดการทดลอง BM15 มีต้นทุนค่าอาหารสูงสุดเพียง 28.11±0.27 บาท และไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ระหว่างชุดการทดลอง BM0 กับ BM5 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ต้นทุนค่าอาหารของลูกปลานิลแดงทั้ง 2 ขนาดที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

สูตรอาหาร	ราคาอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม)	ต้นทุนการผลิต (บาทต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม)	
		ปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม (S1)	ปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม (S2)
BM0	19.23	30.58±1.33^{c}	26.15±0.38^{c}
BM5	18.65	35.19±2.20^{b}	26.30±0.19^{c}
BM10	18.00	38.03±0.62^{ab}	27.12±0.45^{b}
BM15	17.39	40.78±2.56^{a}	28.11±0.27^{a}

* ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

วิจารณ์ผลการวิจัย

เลือดป่นเป็นผลพลอยได้จากโรงงานฆ่าสัตว์ที่มีปริมาณไม่น้อยในแต่ละปี และมีราคาถูก ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำได้ โดยจากผลการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเลือดป่นมีโปรตีนสูงถึง 82.82 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าปลาป่นอย่างชัดเจน จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาทดแทนปลาป่นที่มีราคาสูงกว่า แต่จำเป็นต้องศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการประกอบสูตรอาหารที่มีการนำวัตถุดิบที่หลากหลายจากต่างพื้นที่มาประกอบกันสำหรับสัตว์น้ำแต่ละชนิด (Koch *et al*., 2016)

จากการใช้อาหารเม็ดแบบผลิตเองตามสูตรของเกษตรกร (Karaket *et al*., 2021) เป็นสูตรพื้นฐานในชุดควบคุม โดยมีระดับโปรตีนประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ อาหารสูตรนี้น่าจะมีปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอกับความต้องการของลูกปลานิลแดงวัยอ่อน โดยเฉพาะในลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม ที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำเช่นเดียวกับการศึกษาในลูกปลานิลวัยอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีนประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ แม้ไม่ส่งผลกระทบต่อการตายของลูกปลา แต่ลูกปลามีการเจริญเติบโตช้า เนื่องด้วยลูกปลาวัยอ่อนจนถึงระยะวัยรุ่นมีความต้องการสารอาหารในปริมาณสูงโดยเฉพาะปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็นเพื่อให้เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต (Castillo *et al*., 2017; Choudhary *et al*., 2017) สำหรับปลาวัยรุ่นขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม โปรตีนในอาหารระดับนี้มีความเพียงพอตรงความต้องการทำให้ปลามีการเจริญเติบโตได้ตามปกติ (Nguyen *et al*., 2020) เมื่อมีการทดแทนปลาป่นด้วยเลือดป่นที่ระดับต่างๆ กันในสูตรอาหารทดลอง ถึงแม้จะมีการออกแบบให้ทุกสูตรอาหารมีระดับโปรตีนเท่ากัน แต่การเจริญเติบโตของลูกปลานิลแดงทั้งสองขนาดหลังจากได้รับอาหารทดลองจะมีค่าสูงสุดในอาหารชุดควบคุมซึ่งไม่มีการใช้เลือดป่น และมีการเจริญเติบโตลดลงตามระดับการเพิ่มการทดแทนปลาป่นด้วยเลือดป่น เช่นเดียวกับการศึกษาในปลานิลของ Kirimi *et al*. (2016) เนื่องด้วยลูกปลาต้องการสารอาหารโดยเฉพาะโปรตีนให้เพียงพอกับความต้องการ ปลาจึงกินอาหารในปริมาณมากขึ้น อีกทั้งเลือดป่นมีผลในการลดประสิทธิภาพการย่อย

โปรตีน (Hatlen *et al*., 2015) ปลาจึงพยายามเพิ่มโอกาสในการที่จะได้รับสารอาหารให้ครบถ้วน โดยเพิ่มปริมาณการกินอาหารส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงตามระดับเลือดป่นที่เพิ่มในสูตรอาหาร โดยไม่ได้เป็นผลสืบเนื่องมาจากการได้รับพลังงานในอาหารไม่เพียงพอ เพราะอาหารแต่ละสูตรมีการออกแบบให้มีพลังงานที่เท่ากัน

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ การใช้อาหารทดลองที่มีการทดแทนปลาป่นด้วยเลือดป่น 5 เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเหมาะสมกับลูกปลานิลแดงวัยรุ่น หรือปลานิ้วขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม ขึ้นไปมากกว่า เพราะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตทั้งน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการย่อยอาหารและโปรตีนได้ดีเทียบเท่าชุดควบคุม และมากกว่าระดับการทดแทนอื่นๆ ซึ่งมีความแตกต่างจากการศึกษาของ Chanrat *et al*. (2014) ที่ใช้ได้ 10 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้ได้ 20 เปอร์เซ็นต์ ในปลานิลที่มีขนาดเริ่มต้น 45 กรัม (Aziza and El-Wahab, 2019) อีกทั้งมีการใช้เลือดป่นแทนปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงปลานิลในกระชังในบ่อดินซึ่งให้ผลการเจริญเติบโตเป็นปกติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีหลายปัจจัยเข้ามามีบทบาทต่อความสามารถในการใช้ประโยชน์จากเลือดป่น เช่น สูตรอาหาร สายพันธุ์ อายุ การจัดการการเลี้ยง รวมถึงสถานที่ในการเลี้ยง (Ogello *et al*., 2014)

เนื่องด้วยความไม่สมดุลของปริมาณกรดอะมิโนบางตัวในเลือดป่น ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหา คือ การใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่น เช่น การเสริมด้วย L-lysine ในอาหารเลี้ยงปลาดุกยักษ์ทำให้สามารถใช้เลือดป่นในสูตรอาหารได้มากขึ้น โดยที่ปลายังคงมีการเจริญเติบโตปกติ และช่วยประหยัดต้นทุนลงได้มาก (El-Husseiny *et al*., 2018) เช่นเดียวกับการศึกษาในปลา gilthead seabream ที่แสดงให้เห็นค่อนข้างชัดเจนว่าการใช้เลือดป่นร่วมกับวัตถุดิบอื่นเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารในสัดส่วนที่เหมาะสม ช่วยทำให้ปลามีการใช้ประโยชน์จากอาหาร และการเจริญเติบโตที่ดี (Nogueira *et al*., 2012) การศึกษาครั้งนี้จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การประกอบสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยการใช้วัตถุดิบอาหารอย่างหลากหลายชนิดนั้น มีความจำเป็นต้องศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อทำให้คุณค่าทางอาหารครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณกรดอะมิโนในอาหารต้องมีความสมดุลไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (Koch *et al*., 2016; Craig *et al*., 2017) ดังนั้น การพัฒนาสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของเลือดป่นให้สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นนั้นจำเป็นต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่นในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อทำให้คุณค่าทางอาหารครบถ้วนสมบูรณ์เพียงพอกับความต้องการของสัตว์น้ำในแต่ละระยะ รวมถึงการช่วยให้สัตว์น้ำย่อยโปรตีนในอาหารและดูดซึมไปใช้ได้ (Ng and Romano, 2013; Castillo *et al*., 2017)

ถึงแม้ว่าสูตรอาหารเม็ดแบบผลิตเองแบบนี้มีราคาผลิตต่ำกว่าท้องตลาด โดยราคาอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีโปรตีนประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามท้องตลาดทั่วไปนั้นมีราคาไม่ต่ำกว่ากิโลกรัมละ 32 บาท (Thai Feed Mill Association, 2021) แต่เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม จะพบว่าไม่เหมาะกับการอนุบาลลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม และยิ่งมีต้นทุนเพิ่มมากขึ้นถ้าใช้เลือดป่นในสูตรอาหาร แต่ถ้าเป็นการเลี้ยงลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม จะมีความเหมาะสมเพราะมีต้นทุนที่ต่ำ และสามารถใช้เลือดป่นในสูตรอาหารได้ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบกับการเจริญเติบโต และต้นทุนค่าอาหาร อีกทั้งเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้ของเหลือทิ้งจากโรงงานฆ่าสัตว์ให้เกิดประโยชน์

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาระดับที่เหมาะสมของการใช้เลือดป่นเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นในอาหารสำหรับการอนุบาลปลานิลแดงสองขนาด พบว่าเลือดป่นยังไม่มีความเหมาะสมกับการใช้ในอาหารสำหรับการอนุบาลลูกปลานิลแดง ขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 0.98 กรัม เพราะทำให้ลูกปลามีการเจริญเติบโตช้า และมีต้นทุนการผลิตสูง แต่สามารถนำเลือดป่นใช้ทดแทนปลาป่นได้ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับลูกปลานิลแดงขนาดน้ำหนักเริ่มต้น 4.50 กรัม โดยไม่มีผลกระทบทางลบกับการเจริญเติบโต และสามารถทำให้เกษตรกรลดค่าใช้จ่ายลงได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับอุปกรณ์ และสถานที่สำหรับการทำการทดลอง และขอบคุณนิสิตทุกคนสำหรับความช่วยเหลือจนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Aladetohun, N. F., & Sogbesan, O. A. (2013). Utilization of blood meal as a protein ingredient from animal waste product in the diet of *Oreochromis niloticus*. *International journal of fisheries and aquaculture*, *5*(9), 234-237.

Aliu, B. S., & Dako, M. Q. (2018). Effect of Fish Meal Replacement with Blood Meal on the Growth Response and Utilization of Hybrid (*Clarias gariepinus*♀ X *Heterobranchus bidosarlis*♂) Fingerlings. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*, *1*(3), 1-6.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (17th ed.). Madisoon, Wisconsin. USA.

Aziza, A., & El-Wahab, A. A. (2019). Impact of Partial Replacing of Dietary Fish Meal by Different Protein Sources on the Growth Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Whole Body Composition. *Journal of Applied Sciences*, *19*(5), 384-391.

Castillo, J. D. A., do Nascimento, T. M. T., Mansano, C. F. M., Sakomura, N. K., da Silva, E. P., & Fernandes, J. B. K. (2017). Determining the daily digestible protein intake for Nile tilapia at different growth stages. *Boletim do Instituto de Pesca*, *43*(Especial), 54-63.

Chanrat, B., Klanpan, K., Pankhieo, N., & Karaket, T. (2014). Utilization of Blood Meal as Fishmeal Protein Replacement Source in Diet for Sex Reversed Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus)*. Thai Journal of Animal Science, 1(1), 45-52. (in Thai)

Choudhary, H. R., Sharma, B. K., Uppadhyay, B., & Sharma, S. K. (2017). Effect of different protein levels on growth and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, *5*(3), 480-484.

Craig, S., Helfrich, L. A., Kuhn, D., & Schwarz, M. H. (2017). Understanding fish nutrition, feeds, and feeding. *Virginia Cooperative Extension, 420-256*, 1-6.

Daniel, N. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, *6*(2), 164-179.

Department of Fisheries. (2020). Fisheries Development Policy and Planning Division. Fisheries Statistics of Thailand 2018. No. 10/2020. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Retrieved April 1, 2021, from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20201027103839_1_file.pdf

El-Husseiny, O. M., Hassan, M. I., El-Haroun, E. R., & Suloma, A. (2018). Utilization of poultry by-product meal supplemented with L-lysine as fish meal replacer in the diet of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Journal of Applied Aquaculture*, *30*(1), 63-75.

Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., & Caruso, G. (2018). Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. In *Feeds for the aquaculture sector*. (pp. 1-28). Cham: Springer.

Hamed, S. S., Jiddawi, N. S., & Bwathondi, P. O. (2017). Effects of blood meal as a substitute for fish meal in the culture of juvenile Silver Pompano *Trachinotus blochii* (Lacepède, 1801) in a circulating aquaculture system. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, *16*(1), 1-11.

Hatlen, B., Jakobsen, J. V., Crampton, V., Alm, M., Langmyhr, E., Espe, M., ... & Waagbø, R. (2015). Growth, feed utilization and endocrine responses in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets added poultry by-product meal and blood meal in combination with poultry oil. *Aquaculture nutrition*, *21*(5), 714-725.

Hussain, S. M., Afzal, M., Salim, M., Javid, A., Khichi, T. A. A., Hussain, M., & Raza, S. A. (2011). Apparent digestibility of fish meal, blood meal and meat meal for *Labeo rohita* fingerlings. *The journal of animal and plant sciences*, *21*(2), 807-811.

Karaket, T., Seel-audom, M., Areechon, N. (2021). Analysis and Synthesis of Knowledge from Nile Tilapia Philosophers for Sustainable Culture in the Northern Thailand. *Thai Science and Technology Journal, 29*(3), 454-468. (in Thai)

Kirimi, J. G., Musalia, L. M., Magana, A., & Munguti, J. M. (2016). Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing blood meal as a replacement of fish meal. *Journal of Agricultural Science (Toronto)*, *8*(8), 79-87.

Koch, J. F., Rawles, S. D., Webster, C. D., Cummins, V., Kobayashi, Y., Thompson, K. R., ... & Hyde, N. M. (2016). Optimizing fish meal-free commercial diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, *452*, 357-366.

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*(1-2), 75-84.

Ng, W. K., & Romano, N. (2013). A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Reviews in Aquaculture*, *5*(4), 220-254.

Nguyen, L., Salem, S. M., Salze, G. P., Dinh, H., & Davis, D. A. (2020). Optimizing amino acid balance in diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, *515*, 734566.

Nogueira, N., Cordeiro, N., Andrade, C., & Aires, T. (2012). Inclusion of low levels of blood and feathermeal in practical diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *12*(3), 641-650.

Ogello, E. O., Munguti, J. M., Sakakura, Y., & Hagiwara, A. (2014). Complete replacement of fish meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) grow-out with alternative protein sources. A review. *International Journal of Advanced Research, 2*(8), 962-978.

Oliva-Teles, A., Enes, P., & Peres, H. (2015). Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. In *Feed and feeding practices in aquaculture*. (pp. 203-233). Portugal: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.

R Core Team. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.

Shepherd, C. J., & Jackson, A. J. (2013). Global fishmeal and fish‐oil supply: inputs, outputs and marketsa. *Journal of Fish Biology, 83*(4), 1046-1066.

Thai Feed Mill Association. (2021). Price. Retrieved April 1, 2021, from http://www.thaifeedmill.com/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%B2Price/tabid/78/Default.aspx