

ศักยภาพของหนอนแมลงวันลายในการเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่น
ในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย
และความเข้มสีของปลาแฟนซีคาร์ป

Potential of Black Soldier Fly Larvae as a Fish Meal Replacement
in Diet on Growth Performance, Survival Rate and
Coloration in Fancy Carp Fish (*Cyprinus carpio*)

วรรณัย ศรีศักดิ์¹ บุญทริกา ทองดอนพุ่ม¹ พชรธร สิมกิง²
และกิตติมา วานิชกุล^{1*}

Wantanai Srisakda¹, Boontarika Thongdonphum¹, Pacharathon Simking²
and Kittima Vanichkul^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายต่อ อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และความเข้มสีของปลาแฟนซีคาร์ป โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุด คือ อาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายที่ 0 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดำเนินการทดลองโดยเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ปในตู้กระจกเป็นเวลา 30 วัน ผลการศึกษาพบว่าน้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการรอดตายมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ($p > 0.05$) แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สีบนผิวหนังปลาแฟนซีคาร์ปมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงระหว่างการเลี้ยงมีความเหมาะสม จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลาย ไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และความเข้มสีของปลาแฟนซีคาร์ป ซึ่งแสดงความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ในการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป

คำสำคัญ: โปรตีนทางเลือก อาหารสัตว์น้ำ การพัฒนาสูตรอาหาร อัตราการเจริญเติบโต สีผิวปลา

¹ สาขาวิชาประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สาขาวิชาการพยาบาลสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* Corresponding author e-mail: Kittima_v@rmutt.mail.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2025.v44i2.265778>

Received: 25 December 2024, Revised: 14 February 2025, Accepted: 24 February 2025

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of replacing fish meal with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on the growth performance, survival rate, and coloration of fancy carp (*Cyprinus carpio*). Four experimental diets were formulated with black soldier fly larvae replacing fish meal at 0%, 25%, 50%, and 75%. The experiment was conducted in glass aquaria for 30 days. The results revealed no significant differences ($p > 0.05$) among treatments in final weight, specific growth rate (SGR), or survival rate. However, the feed conversion ratio (FCR) differed significantly ($p < 0.05$). Skin coloration, including lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*), showed no significant differences ($p > 0.05$) among treatments. Water quality parameters during the rearing period remained within acceptable ranges. The results indicate that replacing fish meal with black soldier fly larvae does not adversely affect growth performance, survival rate, and coloration in fancy carp, demonstrating its potential as a viable alternative protein source for aquaculture feed formulation.

Keywords: Alternative protein, Aquafeed, Feed formulation development, Growth performance, Fish skin pigmentation

บทนำ

ปลาป่น (fish meal) เป็นแหล่งโปรตีนหลักที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางโภชนาการที่เหมาะสม มีโปรตีนคุณภาพสูงในปริมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ และมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนและไขมันที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ทำให้ปลาป่นถูกนำไปใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ในหลายอุตสาหกรรม (Gatlin *et al.*, 2007; Tocher, 2015; FAO, 2020) อย่างไรก็ตามปัจจุบันปลาป่นมีปริมาณการผลิตลดลง อีกทั้งมีคุณภาพไม่คงที่ขึ้นกับคุณภาพของปลาที่นำมาผลิต และมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นในปัจจุบัน รวมถึงข้อจำกัดด้านความยั่งยืนของแหล่งวัตถุดิบ (FAO, 2020) เนื่องจากการใช้ทรัพยากรปลาธรรมชาติมาใช้ในการผลิต (Tacon and Metian, 2008) นอกจากปัญหาปริมาณและความยั่งยืนของปลาป่นแล้ว งานวิจัยอีกจำนวนมากได้ให้ความสนใจต่อการใช้วัตถุดิบทางเลือกจากเศษเหลือในอุตสาหกรรมประมง เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร เช่น การนำเศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเล มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนและกรดอะมิโนเข้มข้นที่สามารถใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจได้ (Caruso *et al.*, 2020; Madende and Hayes, 2020) โดยมีรายงานว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารของปลากะรังจุดฟ้าเล็ก (*Plectropomus leopardus*) (Giri *et al.*, 2021), กุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) (De *et al.*, 2020) รวมถึงปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) (แจ่มจันทร์ และทวีเดช, 2567) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม แม้เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลจะเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความคุ้มค่าจากการเก็บ

รักษาซึ่งอาจไม่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำบางชนิด (Harpaz *et al.*, 2005) ส่งผลให้นักวิจัยและผู้ผลิตอาหารสัตว์ได้พยายามหาแหล่งโปรตีนอื่นที่มีสารอาหารเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่น โปรตีนจากแมลงจึงถูกนำเข้ามาเพื่อพัฒนาวัตถุดิบทดแทนปลาป่น เพื่อลดการใช้ปลาป่นและเพิ่มความยั่งยืนของการผลิต (Gatlin *et al.*, 2007)

หนอนแมลงวันลาย (black soldier fly larvae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hermetia illucens* เป็นหนึ่งในแหล่งโปรตีนที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้านปริมาณโปรตีนสูงประมาณ 42-60 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 10-35 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเลี้ยงด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เศษผัก เศษผลไม้ รวมถึงอาหารเหลือทิ้ง มีความสามารถในการเปลี่ยนของเสียทางชีวภาพให้เป็นโปรตีนคุณภาพสูงได้ ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์มีการนำหนอนแมลงวันลายไปใช้เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา (da Silva and Hesselberg, 2020) หนอนแมลงวันลายที่สกัดไขมันออกสามารถทดแทนปลาป่นในอาหารได้บางส่วนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยมีรายงานในปลากัด (*Betta splendens*) (Kari *et al.*, 2023) ปลาไหลญี่ปุ่น (*Anguilla japonica*) (Kuo *et al.*, 2022) และปลาเทราต์สายรุ้ง (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) (Renna *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2023) นอกจากนี้หนอนแมลงวันลายมีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมประมาณ 2.15 มิลลิกรัมต่อกรัม (Secci *et al.*, 2018) แต่ทั้งนี้องค์ประกอบทางโภชนาการของหนอนแมลงวันลายขึ้นอยู่กับวัสดุตั้งต้น (bedding substant) และอาหารที่หนอนแมลงวันลายได้รับ (Newton *et al.*, 1977; Diener *et al.*, 2009)

การเพาะเลี้ยงปลาสวยงามเป็นหนึ่งในภาคอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว (Pandey and Mandal, 2017; Saengsitthisak *et al.*, 2020) อาหารที่ใช้เลี้ยงนั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และสีส้มของปลา ซึ่งสีส้มของปลาส่วนใหญ่ถูกควบคุมโดยตรงด้วยวิตามินที่เรียกว่าแคโรทีนอยด์ เพื่อรักษาระดับของเม็ดสีในผิวหนังและกล้ามเนื้อ ปลาสวยงามจึงมักได้รับอาหารที่เสริมด้วยแคโรทีนอยด์เป็นหลัก (Chatzifotis *et al.*, 2005)

ดังนั้นการศึกษาผลของการใช้หนอนแมลงวันลายทดแทนปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ปเพื่อประเมินการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และสีผิวของปลานั้นจะช่วยให้ได้ข้อมูลผลการใช้โปรตีนทดแทนจากหนอนแมลงวันลายกับปลาสวยงาม เช่น ปลาแฟนซีคาร์ป (*Cyprinus carpio*) ซึ่งเป็นปลาสวยงามน้ำจืดที่นิยมเลี้ยงและมีมูลค่าทางการตลาดสูง ซึ่งข้อมูลในการศึกษานี้สามารถประยุกต์ใช้หนอนแมลงวันลายในการทดแทนปลาป่นสำหรับการเลี้ยงปลาสวยงามสายพันธุ์ปลาการ์ป และสัตว์น้ำอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

การศึกษาผลของการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และความเข้มสีของปลาแฟนซีคาร์ป วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ 3 ซ้ำ (replication) โดยผสมหนอนแมลงวันลายทดแทนปลาป่นในอาหารที่ระดับแตกต่างกัน ได้แก่ 0 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. การเตรียมหนอนแมลงวันลาย

นำหนอนแมลงวันลายแช่แข็งที่ได้จาก Thai Nature Creation (TNC) ฟาร์มเพาะเลี้ยง หนอนแมลงวันลาย จังหวัดสมุทรสาคร ไปแช่น้ำเพื่อละลายน้ำแข็ง นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven) ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นวัตถุบดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบผสมในสูตรอาหาร ทำการวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมี ตามวิธี AOAC (2000) พบว่าหนอนแมลงวันลายป่นมีโปรตีน 39.8 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 34.2 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณความชื้น 3.7 เปอร์เซ็นต์

3. การเตรียมอาหารทดลอง

นำวัตถุดิบอาหารประกอบด้วย ปลาป่น 25 เปอร์เซ็นต์ หัวกุ้งป่น 5 เปอร์เซ็นต์ ตับหมึกป่น 6 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 15 เปอร์เซ็นต์ ปลาข้าว 14 เปอร์เซ็นต์ รำข้าว 5 เปอร์เซ็นต์ ยีสต์ 5 เปอร์เซ็นต์ แป้งสาลี 12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ วิตามินรวม 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันตับหมึก 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช 2 เปอร์เซ็นต์ สารละลายโปรไลโน 5 เปอร์เซ็นต์ เลซิธิน 1 เปอร์เซ็นต์ และ สารเหนียว 1 เปอร์เซ็นต์ (ดัดแปลงจากกองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ, 2563) มาผสมอาหาร ทดลอง 4 ชุดการทดลอง โดยมีการใช้หนอนแมลงวันลายป่นทดแทนปลาป่นในวัตถุดิบอาหารใน อัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยวัตถุดิบทั้งหมดในแต่ละชุด การทดลองจะถูกนำมาบดละเอียดและชั่งตามสัดส่วนที่กำหนด ก่อนผสมแบบแห้งจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปอัดเม็ดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ให้อาหารเย็นตัวลง เก็บอาหาร ในถุงพลาสติกปิดผนึก และเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้เลี้ยงปลาแพนซีคาร์ป โดยอาหารทดลองจะถูกสุ่มเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และความชื้น ตาม AOAC (2000) โดยแต่ละสูตรอาหารมีปริมาณโปรตีน 33.6 33.5 31.3 และ 30.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณไขมัน 7.3 11.2 12.0 และ 13.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณความชื้น 7.2 7.1 6.6 และ 6.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. การเตรียมปลาและดำเนินการ

นำปลาแพนซีคาร์ปขนาด 3-4 นิ้ว จำนวน 200 ตัว มาพักเพื่อปรับสภาพก่อนลงเลี้ยง 7 วัน ในบ่อขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 3 บ่อ มีการให้อากาศตลอดเวลา และให้อาหารเม็ด สำเร็จรูปสำหรับปลาสวยงาม 2 ครั้งต่อวัน หลังจากนั้นทำการปล่อยปลาลงเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 80 x 50 x 50 เซนติเมตร ตู้ละ 12 ตัว จำนวน 12 ตู้ ในตู้มีการติดกรองของเสียและให้อากาศตลอดเวลา ให้อาหารปลาตามชุดการทดลองที่ได้รับ ให้ปลากินจนอิ่มภายในระยะเวลา 20 นาที วันละ 2 มื้อ เวลา 07.30 น. และ 17.30 น. จัดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ มีการดูดตะกอนของเสีย และเปลี่ยนถ่ายน้ำ ในตู้เลี้ยงทุก ๆ 7 วัน ครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำในตู้เลี้ยง

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลก่อนเริ่มการทดลองระหว่างการทดลองทุก ๆ 15 วัน และสิ้นสุด การทดลอง เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยทำการสุ่มปลาจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของปลาทดลอง บันทึก น้ำหนักปลา อาหารที่ให้ปลากิน จำนวนปลาที่เหลือรอดในแต่ละซ้ำ (ตู้เลี้ยง) เพื่อนำมาคำนวณอัตรา การเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (average initial body weight) น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (average final body weight) น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (average weight gain) อัตราการเจริญเติบโต

เฉลี่ยต่อวัน (average daily growth) ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake) อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio) อัตราการรอดตาย (survival rate) ดังสมการ (1) - (5)

$$\text{น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น} = \text{น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย} \quad (1)$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย}}{\text{ระยะเวลาเลี้ยง}} \quad (2)$$

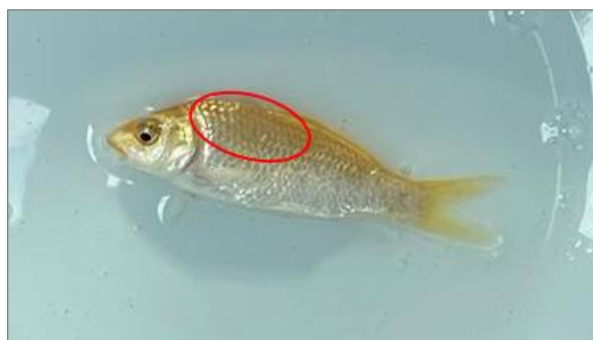
$$\text{ปริมาณอาหารที่กิน} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด}}{\text{จำนวนปลาทดลอง}} \quad (3)$$

$$\text{อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}} \quad (4)$$

$$\text{อัตราการรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือรอดทั้งหมด}}{\text{จำนวนปลาทดลอง}} \times 100 \quad (5)$$

ทำการวัดสีโดยสุ่มปลา 20 เปอร์เซนต์ มาทำการสลับด้วยน้ำมันกานพลู และใช้เครื่องวัดสียี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan EZ 45/0 (LAV) มาแตะวัดค่าสีบริเวณผิวหนังเหนือเส้นข้างลำตัวทั้ง 2 ข้าง (ภาพที่ 1) บันทึกค่าสีที่วัดได้จากเครื่อง ได้แก่ ค่าความสว่าง (lightness: L*) ความเป็นสีแดง (redness: a*) และความเป็นสีเหลือง (yellowness: b*)

มีการวัดค่าคุณภาพน้ำบางประการ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ (temperature) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolve oxygen) ความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปรยี่ห้อ Hach (HQ40D) ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีการไตเตรท (titration) ทุก ๆ สัปดาห์



ภาพที่ 1 ตำแหน่งการวัดสีปลาแพนซีคาร์ป

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และความเข้มข้น ที่ได้จากแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนโดยใช้วิธีวิเคราะห์ analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

1. ผลของการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันป่นในอาหารที่ระดับแตกต่างกันต่อ อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาแพนซีคาร์ป

จากผลการทดลองเลี้ยงปลาแพนซีคาร์ปด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลาย ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลาแพนซีคาร์ปมีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน โดยปลาแพนซีคาร์ปที่ได้รับอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายในอาหารที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายและมีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น รวมถึงมีอัตราการเจริญเติบโตวันสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ๆ ($p > 0.05$) ด้านอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาแพนซีคาร์ปที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำสุด (2.74 ± 0.09) ไม่มีความแตกต่างจากปลาแพนซีคาร์ปที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ แต่แตกต่างกับปลาแพนซีคาร์ปที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายที่ระดับ 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณอาหารที่กินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปลาแพนซีคาร์ปที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินน้อยที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากชุดการทดลองอื่น แต่อย่างไรก็ตามปลาแพนซีคาร์ปที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายที่ระดับ 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอัตราการรอดตายในทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 97.22 ± 4.81 - 100 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเจริญเติบโตของปลาแพนซีคาร์ปได้รับอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายป่นที่ระดับแตกต่างกัน เป็นเวลา 30 วัน

ค่าพารามิเตอร์	ระดับการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายป่น (เปอร์เซ็นต์)				F-test
	0	25	50	75	
1. น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)	12.77 $\pm$ 0.53	12.76 $\pm$ 0.03	12.77 $\pm$ 0.59	12.73 $\pm$ 0.17	ns
2. น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม)	18.51 $\pm$ 0.62	17.97 $\pm$ 0.85	17.32 $\pm$ 0.26	17.66 $\pm$ 0.99	ns
3. น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	5.74 $\pm$ 0.13	5.21 $\pm$ 0.85	4.54 $\pm$ 0.34	4.93 $\pm$ 0.83	ns
4. อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัมต่อวัน)	0.19 $\pm$ 0.00	0.17 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.03	ns
5. ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	15.73 $\pm$ 0.35 ^a	16.64 $\pm$ 0.22 ^b	16.65 $\pm$ 0.70 ^b	17.03 $\pm$ 0.27 ^b	*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ค่าพารามิเตอร์	ระดับการทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันลายปน (เปอร์เซ็นต์)				F-test
	0	25	50	75	
6. อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	2.74±0.09 ^a	3.25±0.51 ^{ab}	3.67±0.22 ^b	3.51±0.53 ^b	*
7. อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	100±0.00	97.22±4.81	100±0.00	100±0.00	ns

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- * และค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. ผลของการทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันปนในอาหารที่ระดับแตกต่างกันต่อความเข้มสีของปลาแฟนซีคาร์ป

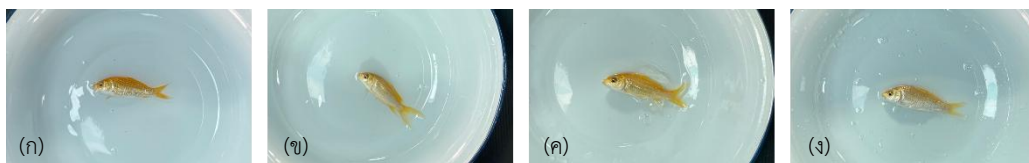
การวัดสีที่ผิวตัวปลาแฟนซีคาร์ป พบว่าค่าความสว่าง (L^*) เริ่มต้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ปเป็นระยะเวลา 15 และ 30 วัน ค่าความสว่างสีที่วัดได้มีค่าลดลงเล็กน้อยแต่ยังคงใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เริ่มต้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ปเป็นระยะเวลา 15 วัน ปลาแฟนซีคาร์ปมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าสีแดงบนผิวปลาแฟนซีคาร์ปยังคงมีค่าใกล้เคียงกับที่ 15 วัน โดยทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เริ่มต้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ป เป็นระยะเวลา 15 และ 30 วัน ค่าสีเหลืองบนผิวปลาแฟนซีคาร์ปลดลงเล็กน้อย แต่ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ของปลาแฟนซีคาร์ปที่ได้รับอาหารทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันลายปนที่ระดับแตกต่างกันเป็นเวลา 30 วัน

ค่าสี	ระยะเวลา	ระดับการทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันลายปน (เปอร์เซ็นต์)				F-test
		0	25	50	75	
L^*	เริ่มต้น	57.41±4.13	60.43±3.26	60.26±3.97	59.16±3.73	ns
	15 วัน	54.44±0.68	55.56±3.17	52.75±0.64	53.61±0.96	ns
	30 วัน	49.76±1.62	49.07±2.72	48.79±0.51	49.72±1.83	ns
a^*	เริ่มต้น	3.20±0.89	2.91±0.16	3.00±0.06	3.16±0.36	ns
	15 วัน	7.52±0.69	7.16±0.28	7.58±1.07	7.28±0.50	ns
	30 วัน	7.02±0.53	7.23±0.49	7.34±0.53	7.12±0.84	ns
b^*	เริ่มต้น	31.66±1.84	31.20±0.37	31.54±1.17	31.52±4.63	ns
	15 วัน	25.87±0.40	25.21±1.69	25.22±1.21	25.23±0.93	ns
	30 วัน	22.97±0.72	22.63±0.76	22.45±0.47	23.32±0.31	ns

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมมุติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 2 สีผิวของปลาแฟนซีคาร์ปที่ได้รับอาหารทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันลายปนที่ระดับแตกต่างกัน ได้แก่ 0 (ก) 25 (ข) 50 (ค) และ 75 เปอร์เซ็นต์ (ง) หลังจากเลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในตู้ทดลอง พบว่าอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 28.07-32.75 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 6.29-7.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 7.61-8.20 แอมโมเนียรวมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันลายในระดับ 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลาแฟนซีคาร์ป ในด้านน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง อย่างไรก็ตามค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio: FCR) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในปลาแฟนซีคาร์ปที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันลายในระดับ 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าหนอนแมลงวันลายที่ใช้ผสมในอาหารทดลองมีไขมันเป็นองค์ประกอบสูงถึง 34.2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สัดส่วนหนอนแมลงวันลายที่เพิ่มขึ้นในอาหารทดลองส่งผลให้ปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันในอาหารปลาที่เกินระดับที่เหมาะสมส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต (Makkar *et al.*, 2014) และทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารสัตว์น้ำน้อยลงส่งผลให้ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Du *et al.* (2006) ที่รายงานว่าปลาเฉา (*Ctenopharyngodon idella*) ที่ได้รับอาหารที่มีไขมันในระดับสูง แสดงอัตราการกินอาหารลดลง อัตราการเจริญเติบโตต่ำลง และประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ในขณะที่น้ำหนักเนื้อเยื่อไขมันในช่องท้องเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Li *et al.* (2017) ระบุว่าปลาไน (*C. carpio* var. Jian) ที่ได้รับอาหารสูตรทดแทนปลาปนด้วยหนอนแมลงวันลายอบแห้งที่ผ่านการสกัดไขมันออกในระดับ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา

ของ Tipayadara *et al.* (2021) ที่พบว่าปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายป่นอบแห้งในระดับ 0 10 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านอัตราการเจริญเติบโต

อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในปลาบางชนิดแสดงผลที่แตกต่างกัน เช่น การศึกษาของ Kroeckel *et al.* (2012) พบว่าการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายอบแห้งในอาหารปลาลิ้นหมา (*Psetta maxima*) ที่ระดับ 0 17 33 49 64 และ 76 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของหนอนแมลงวันลายในอาหาร ในขณะที่การศึกษาของ Khieokhajonkhet *et al.* (2022) พบว่าปลาทอง (*Carassius auratus*) ที่ได้รับอาหารสูตรทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายป่นอบแห้งที่ระดับ 0 43 84 145 และ 210 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แสดงอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของหนอนแมลงวันลายที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ความแตกต่างของผลการทดลองเหล่านี้เกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ ขนาดปลา ชนิดแมลง อาหารของแมลง และกระบวนการแปรรูปแมลง (Tschirmer and Simon, 2015) ในด้านอัตราการรอดตายของปลาแพนซีคาร์ป ในการทดลองนี้ทุกชุดการทดลองแสดงผลอัตราการรอดตายมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบความแตกต่างกันของอัตราการรอดตายในทุกชุดการทดลอง

จากผลการศึกษาพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่วัดได้จากผิวหนังบริเวณเหนือเส้นข้างลำตัวของปลาแพนซีคาร์ปที่ได้รับอาหารทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายในระดับ 0 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ในบางช่วงมีค่าสูงขึ้นเมื่อปลาแพนซีคาร์ปได้รับอาหารทุกชุดทดลอง อาจเนื่องมาจากในสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองมีสาหร่ายเป็นส่วนผสม 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในอาหารเพิ่มขึ้น เกิดการสะสมในผิวหนังของปลา ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงขึ้น (Gouveia *et al.*, 2003) แคโรทีนอยด์ที่มีในอาหารมีผลต่อสีของปลา ทำให้สีเข้มขึ้น เพิ่มความสวยงาม โดยปลานั้นไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เอง (Ebenezar *et al.*, 2020) แหล่งอาหารจึงเป็นส่วนสำคัญของสีที่เกิดบนผิวของปลา หนอนแมลงวันลายมีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมอยู่ที่ 2.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Secchi *et al.*, 2018) ซึ่งมีปริมาณสารสีน้อยกว่าปริมาณหนอนแมลงวันลายที่ใช้ในอาหารทดลองจึงทำให้ปริมาณสารสีในอาหารมีไม่มาก จึงไม่ส่งผลต่อสีบนผิวหนังของปลาแพนซีคาร์ปในการทดลองนี้ นอกจากนี้การศึกษาของอรพินท์ และคณะ (2548) ได้รายงานพบว่าปลาแพนซีคาร์ปที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมแคโรทีนอยด์รวม 96.2 และ 103.9 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่งผลต่อค่าสีแดงบนผิวหนังมากกว่าปลาแพนซีคาร์ปกลุ่มอื่น ๆ ($p < 0.05$)

ในส่วนคุณภาพน้ำบางประการระหว่างการทดลอง พบว่าอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์ อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ (นิคม, 2562)

สรุปผลการวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วยหนอนแมลงวันลายในอาหารเลี้ยงปลาแพนซีคาร์ปครั้งนี้ ทำให้ทราบว่าหนอนแมลงวันลายสามารถใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำได้ ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และความเข้มสีของ

ปลาแพนซีคาร์ป นอกจากนี้นี้ยังไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยง แต่การใช้ในปริมาณที่สูงนั้น อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการใช้อาหารเพื่อการเจริญเติบโต ข้อมูลในการทดลองสามารถเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้หนอนแมลงวันลายทดแทนปลาป่นเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนในการผลิตสัตว์น้ำ เพื่อพัฒนาการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

หนอนแมลงวันลายเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันสูง เมื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในสูตรอาหารสำหรับปลาแพนซีคาร์ป จะส่งผลให้ปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการทดแทนที่สูงขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของไขมันในอาหารอาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา เนื่องจากไขมันส่วนเกินอาจลดประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในกระบวนการเติบโต ดังนั้นจึงควรพิจารณาการลดปริมาณไขมันในหนอนแมลงวันลายให้สอดคล้องกับปริมาณไขมันในปลาป่น ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ทดแทน นอกจากนี้องค์ประกอบทางโภชนาการของหนอนแมลงวันลายอาจแปรผันตามชนิดและคุณภาพของอาหารที่ใช้เลี้ยงหนอนแมลงวันลายด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทูสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 (รหัสโครงการวิจัย FRB67E0203B.3) (รหัสคำรับรอง FRB670027/0168)

เอกสารอ้างอิง

- กองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ. (2563). สูตรอาหารปลาสวยงามกลุ่มกินเนื้อ (ปลากัด/หมอสี/ออสการ์/พาราไดซ์). สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2567, จาก: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200514121442_new.pdf.
- แจ่มจันทร์ เพชรศิริ และทวีเดช ไชยนาพงษ์. (2567). การประยุกต์ใช้เศษเหลือจากการแปรรูปปลาทะเลในสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) ที่เลี้ยงในน้ำจืด. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, 43(1), 80-92, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.257891>.
- นิคม ละอองศิริวงศ์. (2562). คู่มือการวิเคราะห์น้ำ เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการตรวจรับรองมาตรฐานฟาร์ม. เชียงใหม่: วนิตาการพิมพ์.
- อรพินท์ จินตสถาพร บัณฑิต ยวงสร้อย และประเสริฐ สมิตธิวงศ์. (2548). ระดับเหมาะสมของคาร์ทีนอยด์รวมต่อความเข้มข้นปลาคาร์ฟ (*Cyprinus carpio*). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (หน้า 368-378). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- AOAC. (2000). *Official methods of analysis*. (17th ed). Maryland: The Association of Official Analytical Chemists.
- Caruso, G., Floris, R., Serangeli, C. and Paola, L.D. (2020). Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: Biomolecules sources, extraction methods and valorization. *Marine Drugs*, 18(12), 622, doi: <https://doi.org/10.3390/md18120622>.
- Chatzifotis, S., Pavlidis, M., Jimeno, C.D., Vardanis, G., Sterioti, A. and Divanach, P. (2005). The effect of different carotenoid sources on skin coloration of cultured red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture Research*, 36(15), 1517-1525, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01374.x>.
- da Silva, G.D.P. and Hesselberg, T. (2020). A review of the use of black soldier flylarvae, *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*), to compost organic waste in tropical regions. *Neotropical Entomology*, 49(2), 151-162, doi: <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00719-z>.
- De, D., Sandeep, K.P., Kumar, S., Raja, R.A., Mahalakshmi, P., Sivaramakrishnan, T., Ambasankar, A. and Vijayan, K.K. (2020). Effect of fish waste hydrolysate on growth, survival, health of *Penaeus vannamei* and plankton diversity in culture systems. *Aquaculture*, 524, 735240, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735240>.
- Diener, S., Zurbrugg, C. and Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research*, 27(6), 603-610, doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>.
- Du, Z.-Y., Clouet, P., Zheng, W.-H., Degrace, P., Tian, L.-X. and Liu, Y.-J. (2006). Biochemical hepatic alterations and body lipid composition in the herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed high-fat diets. *The British Journal of Nutrition*, 95(5), 905-915, doi: <https://doi.org/10.1079/bjn20061733>.
- Ebeneezar, S., Prabu, D.L., Chandrasekar, S., Tejpal, C.S., Madhu, K., Sayooj, P. and Vijayagopal, P. (2020). Evaluation of dietary oleoresins on the enhancement of skin coloration and growth in the marine ornamental clown fish, *Amphiprion ocellaris* (Cuvier, 1830). *Aquaculture*, 529, 735728, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735728>.
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, Å., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, D., Wilson, R. and Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. *Aquaculture Research*, 38(6), 551-579, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>.
- Giri, N.A., Astuti, N.W.W., Sudewi, S., Marzuqi, M. and Asih, Y.N. (2021). Fish hydrolysate supplemented diet improved feed efficiency and growth of coral trout (*Plectropomus leopardus*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 890, 012024, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/890/1/012024>.
- Gouveia, L., Rema, P., Pereira, O. and Empis, J. (2003). Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass: Colouring ornamental fish. *Aquaculture Nutrition*, 9(2), 123-129, doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2003.00233.x>.
- Harpaz, S., Hakim, Y., Slosman, T. and Eroldogan, O.T. (2005). Effects of adding salt to the diet of Asian seabass (*Lates calcarifer*) reared in fresh or salt water recirculating tanks, on growth and brush border enzyme activity. *Aquaculture*, 248(1-4), 315-324, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.007>.
- Kari, Z.A., Téllez-Isaías, G., Hamid, N.K.A., Rusli, N.D., Mat, K., Sukri, S.A.M., Kabir, M.A., Ishak, A.R., Dom, N.C., Abdel-Warith, A.-W.A., Younis, E.M., Khoo, M.I., Abdullah, F., Shahjahan, M., Rohani, M.F., Davies, S.J. and Wei, L.S. (2023). Effect of fish meal substitution with black soldier fly (*Hermetia illucens*) on growth performance, feed stability, blood biochemistry, and liver and gut morphology of Siamese fighting fish (*Betta splendens*). *Aquaculture Nutrition*, 2023(1), 6676953, doi: <https://doi.org/10.1155/2023/6676953>.
- Khieokhajonkhet, A., Uanlam, P., Ruttarattanamongkol, K., Aeksiri, N., Tatsapong, P. and Kaneko, G. (2022). Replacement of fish meal by black soldier fly larvae meal in diet for goldfish *Carassius auratus*: Growth performance, hematology, histology, total carotenoids, and coloration. *Aquaculture*, 561, 738618, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738618>.
- Kroeckel, S., Harjes, A.-G.E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A. and Schulz, C. (2012). When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute - Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364-365, 345-352, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>.

- Kuo, I.-P., Liu, C.-S., Yang, S.-D., Liang, S.-H., Hu, Y.-F. and Nan, F.-H. (2022). Effects of replacing fishmeal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae meal in Japanese eel (*Anguilla japonica*) diet on growth performance, fillet texture, serum biochemical parameters, and intestinal histomorphology. *Aquaculture Nutrition*, 2022(1), 866142, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/1866142>.
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J. and Yu, H. (2017). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture*, 477, 62-70, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.015>.
- Madende, M. and Hayes, M. (2020). Fish by-product use as biostimulants: An overview of the current state of the art, including relevant legislation and regulations within the EU and USA. *Molecules*, 25(5), 1122, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25051122>.
- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V. and Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.
- Newton, G.L., Booram, C.V., Barker, R.W. and Hale, O.M. (1977). Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 44(3), 395-400, doi: <https://doi.org/10.2527/jas1977.443395x>.
- Pandey, P.K. and Mandal, S.C. (2017). Present status, challenges and scope of ornamental fish trade in India. In *Conference: Aqua Aquaria India 2017* (pp. 1-10). Mangalore: Marine Products Export Development Authority.
- Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M.T., Biasato, I., Biasibetti, E., De Marco, M., Brugiapaglia, A., Zoccarato, I. and Gasco, L. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8, 1-13, doi: <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>.
- Saengsitthisak, B., Chaisri, W., Punyapornwithaya, V., Mektrirat, R., Klayraung, S., Bernard, J.K. and Pikulkaew, S. (2020). Occurrence and antimicrobial susceptibility profiles of multidrug-resistant aeromonads isolated from freshwater ornamental fish in Chiang Mai province. *Pathogens*, 9(11), 973, doi: <https://doi.org/10.3390/pathogens9110973>.

- Secci, G., Bovera, F., Nizza, S., Baronti, N., Gasco, L., Conte, G., Serra, A., Bonelli, A. and Parisi, G. (2018). Quality of eggs from Lohmann brown classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. *Animal*, 12(10), 2191-2197, doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731117003603>.
- Tacon, A.G.J. and Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4), 146-158, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>.
- Tippayadara, N., Dawood, M.A.O., Krutmuang, P., Hoseinifar, S.H., Van Doan, H. and Paolucci, M. (2021). Replacement of fish meal by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal: Effects on growth, haematology, and skin mucus immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Animals*, 11(1), 193, doi: <https://doi.org/10.3390/ani11010193>.
- Tocher, D.R. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94-107, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>.
- Tschirner, M. and Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 249-259, doi: <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>.
- Zhao, J., Pan, J., Zhang, Z., Chen, Z., Mai, K. and Zhang, Y. (2023). Fishmeal protein replacement by defatted and full-fat black soldier fly larvae meal in juvenile turbot diet: Effects on the growth performance and intestinal microbiota. *Aquaculture Nutrition*, 2023(1), 128141, doi: <https://doi.org/10.1155/2023/8128141>.