การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ (*Samia ricini*) หรือดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (j108 x Nhaglai) ในอาหารปลาทอง (*Carassius auratus*) ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ความเข้มสี และดัชนีสุขภาพ

Replacement of Fishmeal by Eri Silkworm (*Samia ricini*) or Thai Crossbreed (j108 x Nhaglai) Silkworm in Goldfish (*Carassius auratus*) Diet on Growth Performance, Pigmentation, and Health Status Index

อรณี ศรีนวล[1], วรวิทย์ มณีพิทักษ์สันติ[1,2*], วรรณพร ทะพิงค์แก[1,2], สุธิรา พลเจริญ[3], ทิพรรณี เสนะวงศ์[3], เสาวณีย์ อภิญญานุวัฒน์[3], สงกรานต์ จันทะรัง[3], สุจนีย์ พรโสภิณ[4], นภสินธุ์ สมมิตร[1] และ อภิชาติ ศรีภัย[1]

Orranee Srinual[1], Worawit Maneepitaksanti[1,2*], Wanaporn Tapingkae[1,2], Suthira Ponjaruen[3], Tipanee Senawong[3], Saowanee Apinyanuwat[3], Songkran Jantharang[3], Sudjanee Pornsopin[4], Nopphasin Sommit[1] and Apichart Seepai[1]

บทคัดย่อ

ดักแด้ไหมอีรี่ (ESM) และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม j108 x Nhaglai (CSM) ได้รับการประเมินเพื่อใช้ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารปลาทอง ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ความเข้มสี และดัชนีสุขภาพ โดยทำการทดสอบการใช้ ESM และ CSM ในอาหารปลาทอง (*Carassius auratus*) เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ในปลาทองจำนวน 300 ตัว (5.00 ± 1.43 กรัม) แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มต่อการทดลอง โดยให้อาหาร 10 ชนิด : 0% (กลุ่มควบคุม) และสูตรอาหารแทนที่ปลาป่น (FM) ด้วย ESM และ CSM ในอัตราส่วน 25%, 50%, 75% และ 100% อาหาร ซึ่งอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง 25 ± 1.8 องศาเซลเซียส ในตู้ปลาจำนวน 30 ตู้ (ขนาด 1.5 ลบ.ม.) ภายใต้การจัดการระบบหมุนเวียนน้ำ จากผลการทดลองพบว่า น้ำหนักสุดท้ายของปลามีค่าสูงที่สุดในปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร ESM (75%) นอกจากนี้ปลาที่ได้รับ CSM แทนที่ FM ที่ระดับ 25% ในสูตรอาหาร มีน้ำหนักสุดท้าย และอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) อีกทั้งปลาที่เลี้ยงด้วย ESM 25% และ 50% มีค่าความเข้มสีเหลือง (b*) ของสีผิวสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในทางตรงกันข้ามค่าความสว่าง (L*), ความเข้มสีแดง (a*), b* ของสีผิว และดัชนีสุขภาพในกลุ่มที่ได้รับ CSM ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ดังนั้น ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่า ESM และ CSM สามารถแทนที่ FM ได้มากถึง 50% ในอาหารปลาทอง นอกจากนี้ ESM ยังช่วยเพิ่มความเข้มสีเหลืองของผิวปลาทองได้อีกด้วย

คำสำคัญ: ดักแด้ไหมอีรี ดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม ปลาทอง สมรรถภาพการเจริญเติบโต ความเข้มสี

[1] ภาควิชาสัตวศาสตร์ และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

[2] ศูนย์วิจัยนวัตกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

[3] กรมหม่อนไหม จ.กรุงเทพมหานคร 10900

[4] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดแพร่ จ.แพร่ 54170

[1] Department of Animal and Aquatic Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

[2] Innovative Agriculture Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

[3] The Queen Sirikit Department of Sericulture, Bangkok 10900

[4] Phrae Inland Aquaculture Research and Development Center, Phrae, 54170

* Corresponding author: worawitmm.4453@gmail.com

Abstract

Eri silkworm (ESM) and Thai crossbreed silkworm j108 x Nhaglai (CSM) were evaluated to investigate the effect of replacement fish meal (FM) in goldfish diets on growth performance, pigmentation, and health status. The ESM and CSM were tested in a 12-week experiment on goldfish (*Carassius auratus*). Three hundred (5.00 ± 1.43 g) goldfish were divided into five groups and were fed ten diets: 0% (control), and fish meal (FM) replaced by ESM and CSM at rates of 25%, 50%, 75% and 100%. Water temperature ranged between 25 ± 1.8 °C. Thirty indoor rectangular fish tanks (1.5 m^3) connected to a recirculating system were used. As a result, the highest final weight was in the fishes fed with ESM feed (75%). In addition, the replacement of CSM for FM at 25% had significantly highest final weight and body weight gain (P<0.05). Moreover, the fish fed with ESM 25% and 50% had higher yellow color intensity (b*) than the control group (P<0.05). On the contrary, there were no significant differences in the brightness (L*), red intensity (a*), b* of skin color and health status index in the CSM group (P>0.05). Therefore, these results clearly indicate that up to 50% of FM in goldfish diet can be replaced by ESM and CSM. Moreover, ESM can be useful for yellow color skin enhancement in goldfish.

Keywords: Eri silkworm, Thai crossbreed silkworm, goldfish, growth performance, pigmentation

คำนำ

ไหมอีรี่ (Eri silkworm) มีถิ่นกำเนิดและเลี้ยงกันมากในประเทศอินเดียรวมทั้งอีกหลายประเทศในทวีปเอเชีย ซึ่งผู้เลี้ยงจะให้กินใบละหุ่งและใบมันสำปะหลังเป็นอาหาร ในประเทศไทยสามารถเลี้ยงไหมอีรี่ด้วยใบมันสำปะหลังที่ปลูกอยู่ในหลายจังหวัด ซึ่งมีพื้นที่เป็นแสนไร่ การเลี้ยงไหมอีรี่จึงเป็นอาชีพทางเลือกใหม่ของเกษตรกรชาวไร่มันสำปะหลัง ที่สามารถทำเป็นอาชีพเสริมสร้างรายได้ให้กับครอบครัวและสามารถผลิตหนอนไหมและดักแด้ที่นำไปใช้บริโภคเป็นอาหารของคนและอาหารสัตว์ ส่วนเส้นไหมที่ได้จากการปั่นและสาวเส้นใยจากรังไหมนำมาใช้ในการทอผ้า ดักแด้ไหมอีรี่คิดเป็นสัดส่วนมากถึง 60% ของรังไหม นิยมบริโภคเป็นอาหารคนและใช้เป็นอาหารสัตว์ซึ่งไม่ก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตราย (Longvah et al., 2011)

ในปัจจุบันไหมกินใบหม่อนพันธุ์ไทยลูกผสม j108 x นางลาย เกษตรกรนิยมเลี้ยงทั่วประเทศ เนื่องจากให้ผลผลิตสูง เลี้ยงง่าย และทนต่อสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย และสามารถเลี้ยงได้ตลอดทั้งปี ดักแด้ไหมถือเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพและราคาถูก โดยทั่วไปดักแด้ประกอบไปด้วยโปรตีนประมาณ 50-70% นอกจากนี้ยังมีปริมาณไขมันที่สูงประมาณ 30% (Meicai & Gaoqiang, 2001; Rumpold & Schlüter, 2013) และยังเป็นไขมันที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Kotake-Nara et al., 2002) โดยไขมันนั้นจะประกอบด้วย neutral lipid 71.85% และ phospholipid 28.15% (Wanchooplao et al., 2009) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการของดักแด้ไหมดังกล่าว ทำให้เป็นที่สนใจของนักโภชนาศาสตร์สัตว์น้ำจึงได้มีการนำดักแด้ไหมมาทดแทนปลาป่น (fish meal) ที่เป็นแหล่งโปรตีนหลักในอาหารปลาและทดแทนน้ำมันปลา (fish oil) ที่มีกรดไขมันที่จำเป็นต่อปลา เพื่อลดราคาทุนค่าอาหารและเป็นการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (by-product) (Henry et al., 2015)

จากการศึกษาก่อนหน้านี้ มีการใช้ดักแด้ไหมกินใบหม่อน *Bombyx mori* เพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารปลาหลายชนิด เช่น กลุ่มปลาไน (common carp) ปลาตะเพียน (Cyprinids) ปลานิล (Nile tilapia) ปลายี่สกเทศ (Rohu) ปลาจีดอินเดีย (*Heteropneustes fossilis* Bloch) ปลาสลิด ปลากะพงญี่ปุ่น (*Lateolabrax japonicus*) ปลาเรนโบว์เทร้าท์ ปลาแซลเมอน (*Oncorhynchus keto*) ปลาตาเดียว (*Paralichthys olivaceus*) เป็นต้น (Henry et al., 2015) แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาระดับที่เหมาะสมในการทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมมีความแตกต่างในปลาแต่ละชนิด จากรายงานการศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยดักแด้ไหมในปลาไน ปลายี่สก และปลาเรนโบว์เทร้าท์ พบว่าดักแด้ไหมสามารถทดแทนปลาป่นในอาหารได้สูงถึง 100% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ พบว่าน้ำมันในดักแด้สามารถดึงดูดการกินของปลาไน และเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนได้ (Begum et al., 1994; Jeyachandran & Paulraj, 1976; Hossain et al., 1997; Dheke & Gubhaju, 2013) อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาคุณสมบัติของดักแด้ไหมอีรี่ ดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (j108 x นางลายสระบุรี) และการทดลองนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารปลาสวยงาม แต่ยังคงมีการศึกษาในจำนวนน้อยมาก

ธุรกิจปลาสวยงามของประเทศไทยมีการขยายตัวเป็นอย่างมาก โดยปลาสวยงามที่ผลิตในประเทศไทยได้รับความนิยมสูงในตลาดต่างประเทศ ได้แก่ ปลากัด ปลาหางนกยูง ปลาทอง ปลาหมอสี ปลาปอมปาดัวร์ เป็นต้น จากข้อมูลการค้าในกลุ่มธุรกิจปลาสวยงานของกองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำ ในปี พ.ศ. 2565 ธุรกิจเกี่ยวกับปลาสวยงามสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยประมาณ 700 ล้านบาท โดยมีส่วนแบ่งในตลาดโลก 7.38% ซึ่งตลาดส่งออกสำคัญของประเทศไทย คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา สิงคโปร์ กลุ่มสหภาพยุโรปและญี่ปุ่น ปลาทองจัดเป็นสัตว์สวยงามเศรษฐกิจที่มีปริมาณการส่งออกอยู่ใน 10 อันดับแรกของประเทศไทย และยังเป็นปลาสวยงามที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีสีสันและรูปร่างสวยงาม สีสันของปลาทองจึงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ปลามีมูลค่าสูงขึ้น สีสันตามธรรมชาติของปลานั้นเกิดมาจากการสะสมเม็ดสี (pigment) ในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งปลาไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาเอง จำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป (Putra et al., 2020) ทั้งนี้จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ดักแด้ไหมมีความสามารถในการสะสมสารสีแคโรทีนอยด์ในร่างกาย โดยเฉพาะสายพันธุ์ที่มีสีเหลือง (Chieco et al., 2019) นอกจากนั้นการเลี้ยงปลาทองในปัจจุบัน พบว่าจำเป็นต้องใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่สมบูรณ์ในการผลิตอาหาร และจากสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ปริมาณปลาที่นำมาผลิตปลาป่นขาดแคลน ส่งผลให้ราคาปลาป่นมีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารปลามีราคาสูงตามไปด้วย ประกอบกับการใช้สารสีสังเคราะห์เพื่อกระตุ้นสีผิวให้เป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อตัวปลาได้ (Rana et al., 2009) ดังนั้นการหาวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถใช้แทนปลาป่น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มสีผิวของปลาทองและส่งเสริมด้านสุขภาพของปลาสวยงามจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการศึกษา ดักแด้ไหมที่มีโปรตีนสูง และมีการสะสมสารสีแคโรทีนอยด์ในร่างกาย อาจเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งโปรตีน และสารสีจากธรรมชาติที่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโต เม็ดสีบริเวณผิวหนัง และปรับปรุงดัชนีสุขภาพของปลาทองได้ในเวลาเดียวกันจึงเป็นการศึกษาที่น่าสนใจต่อการใช้วัตถุดิบทางเลือกในการผลิตอาหารปลาสวยงามเพื่อยกระดับสินค้าประมงของประเทศไทย

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลองและสถานที่ทดลอง

ดำเนินการเตรียมปลาทอง (*Carassius auratus*) ขนาด 5-6 กรัมต่อตัว เลี้ยงปลาทองในตู้กระจกขนาด 160 ลิตร ตู้ละ 10 ตัว ให้อาหารพื้นฐานเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ก่อนเริ่มการทดลอง เพื่อให้ปลาคุ้นชินกับสภาพแวดล้อมของการทดลอง โดยทำการทดลองเลี้ยงปลาในหน่วยทดลองสัตว์น้ำ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ บริเวณพื้นที่ของศูนย์วิจัยสาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ ดังแสดงใน Figure 1 โดยแหล่งน้ำที่ใช้ทดลองเป็นน้ำประปาที่ผ่านกำจัดคลอรีนการพักน้ำก่อนนำมาใช้ มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ คุณสมบัติของน้ำตลอดทั้งการทดลองมีค่าปริมาณอ๊อกซิเจนละลายในน้ำ (DO) เฉลี่ย 5.97 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 26.8 องศาเซลเซียส ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ย 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) และค่าความกระด้าง (Hardness) โดยเฉลี่ยดังนี้ 7.87, 201.18 และ 28.00 ตามลำดับ

Figure 1 The animal trial and experimental fish tank**.**

การเตรียมอาหารสัตว์ทดลอง และการออกแบบการทดลอง

นำดักแด้ไหมทั้ง 2 ชนิดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดแล้วเก็บไว้ในที่ปลอดความชื้น อาหารทดลองสำหรับปลาทองดัดแปลงจากสูตรอาหารของ (Tola et al., 2015) โดยนำดักแด้ไหมอีรี่ และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสมป่น นำไปทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารตามอัตราส่วนใน Table 1 ผสมวัตถุดิบทั้งหมดให้เข้ากัน แล้วอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด อบให้แห้งด้วยความร้อน 60 องศาเซลเซียส นำอาหารทดลองมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี อาหารที่เตรียมเสร็จแล้วเก็บใส่ถุงพลาสติกและแช่ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยใช้ปลาทองจำนวน 300 ตัวประกอบด้วย 5 กลุ่มการทดลอง ต่อ 1 วัตถุดิบ (ดักแด้ไหมอีรี่ และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม) กลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว แต่ละชุดทดลองแทนที่แหล่งโปรตีนจากปลาป่นในสูตรอาหารปลาทองด้วยดักแด้ไหมอีรี่ และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้

การแทนที่ปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่

กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม (ESM0)
กลุ่มที่ 2 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ 25% ในอาหาร (ESM25)
กลุ่มที่ 3 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ 50% ในอาหาร (ESM50)
กลุ่มที่ 4 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ 75% ในอาหาร (ESM75)
กลุ่มที่ 5 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ 100% ในอาหาร (ESM100)

การแทนที่ปลาป่นด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม

กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม (CSM0)
กลุ่มที่ 2 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม 25% ในอาหาร (CSM25)
กลุ่มที่ 3 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม 50% ในอาหาร (CSM50)
กลุ่มที่ 4 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม 75% ในอาหาร (CSM75)
กลุ่มที่ 5 การทดแทนปลาป่นด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม 100% ในอาหาร (CSM100)

Table 1 Formulation of the experimental diets fed to silkworm for goldfish.

Ingredient (100%)	0%	25%	50%	75%	100%
FM [1]	**15.00**	11.25	7.50	3.75	0.00
ESM / CSM [1]	0.00	**3.75**	**7.50**	**11.25**	**15.00**
Cassava	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Soybean meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Wheat	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60
Rice bran	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Vitamin and mineral	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Fish oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Soybean oil	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
total	100	100	100	100	100

[1] FM; Fish meal, ESM; Eri silkworm meal, CSM; Thai crossbreed (j108 x Nhaglai) silkworm meal.

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดตัวปลาในแต่ละสัปดาห์ ตามวิธีการของ Jahanbakhshi et al. (2021) ดังแสดงใน Figure 2 จากนั้นทำการเก็บข้อมูล โดยบันทึกน้ำหนักปลาเริ่มต้น (Initial body weight: W_1) และน้ำสุดท้าย (Final body weight: W_2) เพื่อประเมินอัตราการเจริญเติบโต (Body weight gain) และ อัตราการเจริญจำเพาะ (Specific growth rate)

Weight gain = $W_2 - W_1$

Specific growth rate (SGR) = 100 [Ln W_2(g) - Ln W_1(g)]/T

หมายเหตุ: W1: น้ำหนักตัวเริ่มต้น; W2 : น้ำหนักตัวสุดท้าย ; T: ระยะเวลาทดลอง (วัน)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองดำเนินการสุ่มปลาทอง จำนวน 2 ตัว/ตู้ เพื่อเก็บตับเพื่อประเมินค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index) เก็บตัวอย่างอวัยวะภายในและไขมันในช่องท้อง โดยชั่งน้ำหนักและแยกส่วนของไขมันในช่องท้องออก เพื่อประเมินค่าสัดส่วนอวัยวะภายใน (Viscera somatic index) และไขมันในช่องท้อง (Visceral fat)

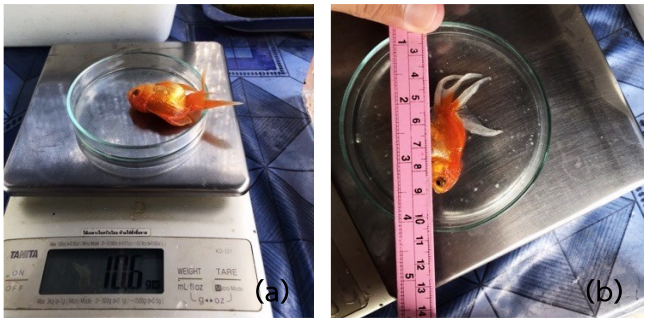

Figure 2 The weight-length measurement of the goldfish. Weighing measure (a) and length measure (b).

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของ ดักแด้ไหมอีรี่ และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (ดักแด้ไหมพันธุ์วนาสวรรค์ x ทับทิมสยาม; j108 x Nhaglai) ดังแสดงใน Table 2 พบว่าดักแด้ไหมอีรี่มีโปรตีนโดยรวม 66.18% และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม มีโปรตีนโดยรวม 56.16% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดักแด้ไหม (Silkworm pupae meal) ของ Karthick Raja et al. (2019) พบดักแด้หนอนไหมมีโปรตีนอยู่ในช่วง 50–70% ในขณะที่ปลาป่นมีโปรตีนอยู่ที่ 60-77% และเมื่อนำดักแด้ทั้ง 2 ชนิดมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในอาหารปลาทอง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารปลาทองในแต่ละสูตรการทดลองได้แสดงดัง Table 3 ทั้งนี้ระดับของโปรตีนในสูตรอาหารที่ปรากฏขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์โปรตีนของดักแด้ไหมทั้ง 2 ชนิด โดยอาหารที่แทนที่ด้วยดักแด้ไหมอีรี่ซึ่งมีโปรตีนสูง จะมีระดับโปรตีนในสูตรอาหาร 24-25% ซึ่งมากกว่าอาหารสูตรที่แทนที่ดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม พบค่าโปรตีนในสูตรอาหารที่ 22-23%

Table 2 The chemical composition of dietary replacement of Eri silkworm (*Samia ricini*) and Thai crossbreed (j108 x Nhaglai) silkworm meal.

Silkworm meal	Ash	Crude protein	Crude fiber	Ether extract	Gross energy
ESM	6.54	66.18	8.56	21.29	5,741
CSM	5.76	56.16	6.08	26.74	6,168

Table 3 The chemical composition of dietary replacement of fishmeal by Eri silkworm (*Samia ricini*) and Thai crossbreed (j108 x Nhaglai) silkworm for goldfish.

Dietary	Dry matter	Ash	Crude protein	Crude fiber	Ether extract
Eri silkworm meal (ESM)					
ESM 0	91.47	6.71	25.5	4.10	7.77
ESM 25	91.54	6.21	25.7	4.51	7.67
ESM 50	90.15	5.49	25.3	6.68	9.14
ESM 75	86.55	4.76	24.3	6.13	8.72
ESM 100	86.4	4.16	24.3	5.93	8.58
Thai crossbreed silkworm meal (CSM)					
CSM 0	84.83	6.06	23.7	5.11	7.55
CSM 25	85.87	6.07	23.2	5.07	6.82
CSM 50	82.25	5.65	22.8	5.12	6.37
CSM 75	84.07	5.55	22.4	4.49	5.25
CSM 100	83.48	5.36	22.4	4.74	5.37

FM; Fish meal, ESM; Eri silkworm meal, CSM; Thai crossbreed (j108 x Nhaglai) silkworm meal.

จากการศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตของปลาทอง (Table 4) พบว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ (ESM) ที่ระดับ 75% ส่งผลทำให้น้ำหนักตัวสุดท้ายของปลาทองมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่การแทนที่ปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาทอง (P>0.05) แต่ตรงกันข้ามกับการแทนที่แหล่งโปรตีนด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (CSM) ในสูตรอาหารปลาทองที่ระดับ 100% ส่งผลทำให้น้ำหนักสุดท้าย และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของปลามีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ทั้งนี้การแทนที่ด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสมที่ระดับ 25% ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

Table 4 Effect of Eri silkworm (*Samia ricini*) and Thai crossbreed (j108 x Nhaglai) silkworm on growth performance in goldfish diet.

Growth performance	0%	25%	50%	75%	100%	SEM	*P*-value
Eri silkworm (ESM)							
Initial weight (g)	6.06	5.83	5.91	5.49	5.60	0.168	0.270
Final weight (g)	11.37^{ab}	9.95^{b}	9.95^{b}	11.59^{a}	10.13^{b}	0.254	0.048
BW gain	5.31	4.13	5.04	6.10	4.53	0.252	0.096
SGR	0.69	0.59	0.78	0.82	0.66	0.034	0.195
Thai crossbreed silkworm meal (CSM)							
Initial weight (g)	5.97	6.41	6.43	6.43	5.50	0.166	0.311
Final weight (g)	10.60^{b}	12.11^{a}	11.51^{ab}	10.30^{b}	8.84^{c}	0.331	0.001

BW gain	4.63^{bc}	5.69^{a}	5.08^{ab}	3.86^{cd}	3.34^{d}	0.249	0.001
SGR	0.63	0.70	0.64	0.52	0.52	0.025	0.079

$^{a-d}$ Different superscript letters within each row are significantly different (P<0.05). SEM; standard error of mean, BW; Body weight gain, SGR; Specific growth rate.

เมื่อดำเนินการศึกษาความเข้มสีผิวของปลาทอง ดังแสดงใน Table 5 พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยดักแด้ไหมอีรี่ที่ระดับ 50% และ 75% ส่งผลทำให้ผิวของปลามีทองมีค่าความเข้มสีเหลือง (b*) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ทั้งนี้ไม่พบผลกระทบจากการแทนที่แหล่งโปรตีนด้วยดักแด้ไหมอีรี่ต่อค่าความสว่าง (L*), ความเข้มสีแดง (a*) ของผิวปลาทอง เช่นเดียวกับการใช้ดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสมแทนที่ปลาป่นในสูตรอาหารปลาทองไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความเข้มสีผิวของปลาทอง (P>0.05)

Table 5 Effect of Eri silkworm (*Samia ricini*) and Thai crossbreed (j108 x Nhaglai) silkworm on pigmentation in goldfish diet.

Pigmentation	0%	25%	50%	75%	100%	SEM	*P*-value
Eri silkworm (ESM)							
L*	53.67	56.19	55.12	52.35	50.86	0.829	0.262
a*	18.68	16.55	16.43	17.29	16.05	0.465	0.415
b*	26.60^{b}	27.10^{b}	33.62^{a}	33.50^{a}	30.16^{ab}	0.982	0.048
Thai crossbreed silkworm meal (CSM)							
L*	56.54	54.36	56.46	56.40	56.35	0.670	0.827
a*	16.60	16.14	16.40	18.60	18.38	0.406	0.154
b*	32.63	30.89	30.34	31.59	31.21	0.884	0.948

$^{a-d}$ Different superscript letters within each row are significantly different (P<0.05). SEM; standard error of mean.

อีกทั้ง Table 6 แสดงผลการแทนที่แหล่งโปรตีนจากปลาป่นด้วยดักแด้ไหมอีรี่ และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (j108 x Nhaglai) ในอาหารปลาทองต่อค่าดัชนีสุขภาพ พบว่าการแทนที่ด้วยดักแด้ไหมอีรี่ที่ระดับ 25% และ 50% ส่งผลทำให้ค่าค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index: HSI) มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ลดลงในกลุ่มที่ได้รับดักแด้ไหมอีรี่ที่ระดับ 75% และ 100% แต่ทั้งนี้การแทนที่ปลาป่นด้วยดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสมในสูตรอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อค่าดัชนีตับ สัดส่วนอวัยวะภายใน และไขมันในช่องท้องของปลาทอง (P>0.05)

Table 6 Effect of Eri silkworm (*Samia ricini*) and Thai crossbreed (j108 x Nhaglai) silkworm on health status in goldfish diet.

Health status	0%	25%	50%	75%	100%	SEM	*P*-value
Eri silkworm (ESM)							
Hepatosomatic index (HSI)	0.29[b]	0.49[a]	0.46[a]	0.29[b]	0.44[ab]	0.029	0.034
Visceral somatic index (VSI)	7.52	9.42	8.77	7.12	8.52	0.373	0.301
Visceral fat index (VFI)	2.28	2.74	3.04	2.25	1.98	0.166	0.269
Thai crossbreed silkworm meal (CSM)							
Hepatosomatic index (HSI)	0.19	0.34	0.25	0.22	0.30	0.020	0.115
Visceral somatic index (VSI)	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.003	0.483
Visceral fat index (VFI)	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.002	0.080

[a-d] Different superscript letters within each row are significantly different ($P<0.05$). SEM; standard error of mean,

ปลาต้องการโปรตีนจากอาหารเพื่อการเจริญเติบโตประมาณ 28-55% ของอาหาร (dry diet) ความต้องการดังกล่าวจะลดลงเมื่อปลาโตขึ้น ปลาทองต้องการโปรตีน 25-40% ในสูตรอาหาร (Hasan, 2001; Sales & Janssens, 2003) จากการศึกษาพบว่าระดับโปรตีนของดักแด้ไหมดักแด้ไหมอีรี่ และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (ดักแด้ไหมพันธุ์วนาสวรรค์ x ทับทิมสยาม) มีโปรตีนโดยรวมเท่ากับ 66.18% และ 56.16% ตามลำดับ ซึ่งเทียบเท่ากับปลาป่น โดยทั่วไป ปลาป่นถือว่าเป็นวัตถุดิบโปรตีนคุณภาพสูง เนื่องจากมีระดับโปรตีนสูงถึง 66% ในขณะที่กากถั่วเหลืองมีโปรตีนเพียง 44% (Tacon et al., 2009) ปลาป่นนอกจากมีโปรตีนสูงยังมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนและกรดไขมันที่ครบถ้วนที่จำเป็นต่อปลา ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดีของปลา นอกจากนี้ ปลาป่นยังมีรสชาติและกลิ่นที่ดีทำให้ดึงดูดการกินอาหารของปลา แต่เนื่องด้วยปริมาณการจับปลาจากธรรมชาติเพื่อผลิตปลาป่นลดลงอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ราคาของปลาป่นเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่คุณภาพลดต่ำลง จึงเกิดแนวคิดการหาวัตถุดิบจากพืชที่มีราคาถูกมาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่น เช่น กากถั่วเหลือง ซึ่งมีโปรตีนประมาณ 44% อย่างไรก็ตามการใช้ถั่วเหลืองในอาหารสัตว์น้ำยังมีข้อจำกัด เพราะในถั่วเหลืองมีสารต้านโภชนะ (Anti-nutritinal factors) ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการเจริญเติบโต อีกทั้งถั่วเหลืองไม่มีรสชาติ และกลิ่นที่ดึงดูดการกินอาหารของปลา (Palatability) (Rumpold & Schlüter, 2013; Tacon et al., 2009)

ทั้งนี้จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี เช่น ระดับโปรตีน (Crude protein) และองค์ประกอบของกรดอะมิโน (amino acid profile) ในดักแด้ไหมพบว่ามีความใกล้เคียงกับปลาป่นมาก (Sheikh et al., 2018) ซึ่งนอกจากองค์ประกอบกรดอะมิโนที่จำเป็นได้แก่ lysine (Lys), methionine (Met) และ leucine (Leu) เป็นต้น ดักแด้ไหมยังประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 ในปริมาณสูง (Karthick Raja et al., 2019) ในดักแด้ไหมบางชนิด เช่น ดักแด้ไหมกินใบหม่อน (*Bombyx mori*) และ yellow mealworm (*Tennebrio molitor*) พบว่าปริมาณกรดอะมิโนที่สะสมในร่างกายตรงตามความต้องกรดอะมิโนของปลา (Alegbeleye et al., 2012; (Hasan, 2001) จากการศึกษาระดับของกรดอะมิโนในดักแด้ไหม *Lepidopterra* พบว่ามีระดับของ Met ที่สูง นอกจากนี้การศึกษาปริมาณและองค์ประกอบกรด

ไขมันในดักแด้ไหมอีรี่ พบว่า น้ำมันที่สกัดได้จากดักแด้ไหมอีรี่ประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 33% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 67% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุด คือ alpha-linolenic acid (C18:3) (Sheikh et al., 2018; Chieco et al., 2019) เป็นกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย สามารถป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคที่เกิดจากการอักเสบ และโรคที่เกิดจากความผิดปกติของระบบประสาท (Rangacharyulu et al., 2003) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงส่งผลทำให้ปลาทองมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น

นอกจากนั้นการใช้ดักแด้ไหมอีรี่ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 50% และ 75% ส่งผลทำให้สีผิวของปลาทองมีค่าความเข้มสีเหลืองเพิ่มสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากดักแด้ไหมนอกจากจะอุดมไปด้วยโปรตีน กรดอะมิโน และกรดไขมันแล้วยังสามารถสะสมสารสีกลุ่มของแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ที่มีลักษณะสีส้มแดงในร่างกาย (Chieco et al., 2019) ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์ที่กินใบหม่อนสด (*Morus alba* L.) เป็นอาหารจะพบการสะสมในปริมาณมาก ซึ่งสารสีดังกล่าวนอกจากจะช่วยกระตุ้นการสะสมเม็ดสีเหลือง-ส้ม ของปลาทองแล้วนั้นยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถลดค่าดัชนีสุขภาพที่ร้ายแรง ซึ่งเกิดขึ้นจากความเครียด หรือการได้รับสารพิษของสัตว์ได้ (Chieco et al., 2019; Karthick Raja et al., 2019) ดังนั้นการใช้ดักแด้ไหมเพื่อทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารปลาทองจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สำคัญนอกจากจะปลอดภัยกว่าปลาป่น ยังอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนะที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากกว่าปลาป่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งดักแด้ไหมอีรี่ ซึ่งสามารถกระตุ้นการสะสมเม็ดสีเหลืองที่ผิวของปลาทองให้เพิ่มมากขึ้น ทำให้สีของปลาทองเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้น

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการทดแทนแหล่งโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลาทอง (*Carassius auratus*) ด้วยดักแด้ไหมอีรี่ (*Samia ricini*; ESM) และดักแด้ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (j108 x Nhaglai; CSM) ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่า ESM และ CSM สามารถแทนที่ FM ได้มากกว่า 50% ในสูตรอาหารปลาทอง โดยการแทนที่ปลาป่นด้วยดักแด้หนอนไหมทั้ง 2 ชนิด สามารถช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวสุดท้ายของปลาทอง ความเข้มสีเหลืองของผิวปลาทอง และค่าดัชนีสุขภาพของปลาทองได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้เฉพาะปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหาร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกรมหม่อนไหม (The Queen Sirikit Department of Sericulture) สังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทั้งนี้ขอขอบคุณนักวิชาการจากศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ เชียงใหม่ สำหรับความร่วมมือและการสนับสนุนวัตถุดิบในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Alegbeleye, W. O., Obasa, S. O., Olude, O. O., Otubu, K., & Jimoh, W. (2012). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. **Aquaculture Research**. 43(3), 412-420.

Begum, N. N., Chakraborty, S. C., Zaher, M., Abdul, M. M., & Gupta, M. V. (1994). Replacement of fishmeal by low-cost animal protein as a quality fish feed ingredient for indian major carp, *labeo rohita*, fingerlings. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 64(2), 191-197.

Chieco, C., Morrone, L., Bertazza, G., Cappellozza, S., Saviane, A., Gai, F., Di Virgilio, N., & Rossi, F. (2019). The effect of strain and rearing medium on the chemical composition, fatty acid profile and carotenoid content in silkworm (*Bombyx mori*) pupae. **Animals**. 9(3), 103-116.

Dheke, S., & Gubhaju, S. R. (2013). Growth response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on substitution of shrimp meal by different protein sources. **Nepalese Journal of Zoology**. 1(1), 24-29.

Hasan, M. (2001). Nutrition and feeding for sustainable aquaculture development in the third millennium. In **The 3rd Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture**. (pp. 193-219). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. **Animal Feed Science and Technology**. 203, 1-22.

Hossain, M., Nahar, N., & Kamal, M. (1997). Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*). **Aquaculture**. 151(1-4), 37-45.

Jahanbakhshi, A., Pourmozaffar, S., Adeshina, I., Mahmoudi, R., Erfanifar, E., & Ajdari, A. (2021). Selenium nanoparticle and selenomethionine as feed additives: Effects on growth performance, hepatic enzymes' activity, mucosal immune parameters, liver histology, and appetite-related gene transcript in goldfish (*Carassius auratus*). **Fish Physiology and Biochemistry**. 47(2), 639-652.

Jeyachandran, P., & Paulraj, S. (1976). Experiments with artificial feeds on *Cyprinus carpio* fingerlings. **Journal of Inland Fisheries Society of India**. 8(1976), 33-37.

Karthick Raja, P., Aanand, S., Stephen Sampathkumar, J., & Padmavathy, P. (2019). Silkworm pupae meal as alternative source of protein in fish feed. **Journal of Entomology and Zoology Studies**. 7(4), 78-85.

Kotake-Nara, E., Yamamoto, K., Nozawa, M., Miyashita, K., & Murakami, T. (2002). Lipid profiles and oxidative stability of silkworm pupal oil. **Journal of Oleo Science**. 51(11), 681-690.

Longvah, T., Mangthya, K., & Ramulu, P. (2011). Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. **Food chemistry**. 128(2), 400-403.

Meicai, W., & Gaoqiang, L. (2001). The research and exploitation of insect protein. **Journal of Central-south Forestry College**. 21(2), 86-90.

Putra, D. F., Qadri, A., El-Rahimi, S. A., & Othman, N. (2020). Effects of astaxanthin on the skin color of green swordtail, Xyphophorus helleri. **E3S Web of Conferences**. 151, 01065-01069.

Rana, K. J., Siriwardena, S., & Hasan, M. R. (2009). **Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production**. Stirling: University of Stirling.

Rangacharyulu, P., Giri, S., Paul, B., Yashoda, K., Rao, R. J., Mahendrakar, N., Mohanty, S., & Mukhopadhyay, P. (2003). Utilization of fermented silkworm pupae silage in feed for carps. **Bioresource Technology**. 86(1), 29-32.

Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. 17, 1-11.

Sales, J., & Janssens, G. P. (2003). Nutrient requirements of ornamental fish. **Aquatic Living Resources**. 16(6), 533-540.

Sheikh, I., Banday, M., Baba, I., Adil, S., Nissa, S. S., Zaffer, B., & Bulbul, K. (2018). Utilization of silkworm pupae meal as an alternative source of protein in the diet of livestock and poultry: a review. **Journal of Entomology and Zoology Studies**. 6(4), 1010-1016.

Tacon, A. G., Metian, M., & Hasan, M. R. (2009). **Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: sources and composition**. Rome: Fisheries and Aquaculture Management Div.

Tola, S., Bureau, D. P., Hooft, J. M., Beamish, F. W., Sulyok, M., Krska, R., Encarnação, P., & Petkam, R. (2015). Effects of wheat naturally contaminated with Fusarium mycotoxins on growth performance and selected health indices of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). **Toxins**. 7(6), 1929-1944.

Wanchooplao, N., Jintasataporn, O., Tabthipwon, P., & Areechon, N. (2009). Utilization of protein hydrolysates from Eri silkworm pupae (*Philosamia ricini*) in giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). In The **Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference**. (pp. 1-47). Bangkok: Kasetsart University.

วันรับบทความ (Received date) : 21 มิ.ย. 65
วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 9 ส.ค. 65
วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 ต.ค. 65