

ผลของถั่วเหลืองหมักด้วยแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* var. natto ต่อการเจริญเติบโตของปลากะพงขาว (*Lates culcarifer* Bloch, 1970)

Effect of Soybean Meal Fermented with *Bacillus subtilis* var. natto on Growth Performance of Juvenile Asian Seabass (*Lates culcarifer* Bloch, 1970)

สุพัตชา ชูเสียงแจ้ว, วรวุฒิ เกิดปราง, ทินวุฒิ ล่องพริก และ ปรีดา ภูมิ

Supatcha Choooseangaew, Worawut Koedprang, Tinnawut Longprig and Preeda Phumee

สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ประเทศไทย

Aquaculture and Fisheries Product Department, Faculty of Science and Fisheries Technology,

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, Thailand

Received : 6 June 2024, Received in revised form : 2 November 2024, Accepted : 2 November 2024

Available online : 19 November 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ปลากะพงขาว เป็นปลาเศรษฐกิจที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในบริเวณพื้นที่ติดชายฝั่ง จังหวัดตรังมีการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง กระจายอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล และปากแม่น้ำ โดยใช้อาหารสำเร็จรูป และ ปลาสด ซึ่งการใช้อาหารสำเร็จรูป ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี แต่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่มีราคาสูง โดย เกษตรกรบางราย มีการใช้ปลาสดเป็นอาหารให้ปลากะพงขาว เนื่องจากสามารถหาซื้อปลาสดได้ในทุกวัน แต่ก็ประสบปัญหาคุณภาพของ ปลาสดที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลากหลาย ไม่คงที่ ส่งผลต่อการเจริญเติบโต จึงได้หาแนวทางในการผลิตอาหารต้นทุน ต่ำ โดยนำถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อ *Bacillus subtilis* var. natto ทดแทนปลาป่น เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และต้นทุนด้านอาหารในการเลี้ยงปลากะพงขาว

วิธีดำเนินการวิจัย : สุ่มปลากะพงขาวขนาด 37.00-38.18 กรัม เลี้ยงในกระชังขนาดยาว 2 เมตร กว้าง 1.5 เมตร ลึก 2 เมตร จำนวน 100 ตัวต่อกระชัง จำนวน 12 กระชัง อาหารทดลองมี 3 ชนิดคือ อาหารสำเร็จรูปสำหรับปลากะพงขาว (CM) อาหาร ผสมถั่วเหลืองหมัก (NT) และปลาสด (TF) ให้ปลากินอาหารจนอิ่มวันละ 1 มื้อ (8.00 น.) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 160 วัน

ผลการวิจัย : น้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอด และผลผลิตปลากะพงขาวต่อกระชัง ของทุกชุดการ ทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วน ปริมาณอาหารที่กิน อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพ การใช้โปรตีน และต้นทุนค่าอาหาร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร CMมีค่าปริมาณที่กินน้อยที่สุด รองลงมา เป็นปลาที่ได้รับอาหาร NT ส่วนปลาที่ได้รับอาหาร TF มีค่าปริมาณอาหารที่กิน มากที่สุด อัตราแลกเนื้อของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร NT ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหาร CM และน้อยกว่าปลาที่ ได้รับอาหาร TF ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหาร NT มีค่าน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหาร CM และ TF ปลา ที่ได้รับอาหาร NT มีต้นทุนด้านอาหารน้อยที่สุด รองลงมาเป็นปลาที่ได้รับอาหาร CM ส่วนปลาที่ได้รับอาหาร TF มีต้นทุน ด้านอาหารมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย : จากผลการศึกษาพบว่า การทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยอาหารที่ทดแทนปลาป่นบางส่วนด้วยถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อ *B. subtilis* var. natto ให้ผลต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด และผลผลิตไม่แตกต่างจากอาหารสำเร็จรูปและปลาสด นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนด้านอาหารของปลากะพงขาวที่เลี้ยงในกระชังได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย

คำสำคัญ : เชื้อบาซิลลัส ; ถั่วเหลืองหมัก ; แหล่งโปรตีนทดแทน ; ปลากะพงขาว

Abstract

Background and Objectives : Asian sea bass is an economically species is widely cultured in coastal area. In Trang province, Asian sea bass is popular raised in cages distributed along coastal area and estuaries, using both commercial diet and trash fish. Although commercial feed encourages better growth performance but it increases costs significantly. Some farmers try to use trash fish as feed because it is readily available daily. However, the constraint of trash fish is variable nutritional values that effect on fish growth. Therefore, the objectives of this experiment are to seeking for cost-effective diets by replacement fish meal by fermented soybean meal with *Bacillus subtilis* var. natto in order to investigate the effects of this alternative feed on growth performance, feed efficiency, and feed cost in Asian seabass farming.

Methodology : One thousand and two hundred Asian sea bass with initial weight 37.00-38.18 gram were randomly distributed into twelve net cages (2×1.5×2 meter), one hundred fish per cage. The three experimental diets were the commercial feed for sea bass (CM), the diet contained fermented soybean meal (NT), and trash fish (TF). Fish were fed once daily (8.00 A.M.) till satiation for 160 days.

Main Results : Mean body weight, specific growth rate, Survival rate, and yield/cage of Asian seabass were not significantly different ($P>0.05$) among all treatment groups of fish. However, feed intake, feed conversion ratio, protein efficiency ratio, and feed cost were significantly different ($P<0.05$). The Asian seabass fed on CM diet had the lowest feed intake, followed by those of fish fed on NT diet, while fish fed on TF diet had the highest feed intake. Feed conversion ratio of fish fed on NT diet was not different comparison to fish fed on CM diet, and showed lower than those of fish fed on TF diet. Protein efficiency ratio of fish fed on NT diet was lower than those of fish fed on CM and TF diets. Fish fed on NT diet had the lowest feed cost, followed by those of fish fed on CM diet, while fish fed on TF diet showed the highest feed cost.

Conclusions : The results of this experiment showed that Asian seabass fed with partial replacement of fish meal by fermented soybean with *Bacillus subtilis* var. natto had similar growth performances, survival rates and yields with commercial feed or trash fish. Additionally, it could significantly lower the feed cost for seabass raised in cages.

Keywords : *Bacillus subtilis* var. natto ; fermented soybean meal ; alternative protein source ; Asian Seabass

*Corresponding author E-mail : preeda.ph@rmutsv.ac.th

บทนำ

ปลากะพงขาวเป็นปลาน้ำจืดที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่นิยมเลี้ยงในกระชังบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล เป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาสูง ประมาณกิโลกรัมละ 140-160 บาท ในประเทศไทยมีรายงานปริมาณผลผลิตปลากะพงขาวจากการเลี้ยง ในปี 2564 ปริมาณ 48,139 ตัน ในปี 2565 ปริมาณ 51,893 ตัน มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น 3,574 ตัน คิดเป็นร้อยละ 7.8 ในส่วนมูลค่าการเลี้ยงปลากะพงขาวในปี 2564 มีมูลค่า 5,049 ล้านบาท และในปี 2565 มีมูลค่า 6,058 ล้านบาท มูลค่าเพิ่มขึ้นจากปี 2564 จำนวน 1,009 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 19.98 (Fisheries Statistics Group, 2023) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลากะพงขาวเพื่อทดแทนการใช้ปลาสด ผู้เลี้ยงปลากะพงขาวมักประสบปัญหาปริมาณปลาสดไม่คงที่ รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการของปลาสดจะเสื่อมสภาพลงตามวิธีการและระยะเวลาในการเก็บรักษา ทำให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นที่นิยมของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาว เนื่องจากสะดวกในการให้อาหาร การเก็บรักษาและปลามีการเจริญเติบโตที่ดี อย่างไรก็ตามราคาของอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลากะพงขาวมีราคาค่อนข้างสูง ประมาณกิโลกรัมละ 50-60 บาท จึงทำให้ต้นทุนในการเลี้ยงสูงตามไปด้วย ทั้งนี้ต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดจะเป็นต้นทุนค่าอาหาร (Rana *et al.*, 2009)

การเลี้ยงปลากะพงขาวในจังหวัดตรังมีการเลี้ยงกระจายอยู่บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ โดยชุมชนบ้านแหลม ตำบลวังวน อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง เป็นอีกแหล่งหนึ่งที่มีการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังจำนวนมาก จากการลงพื้นที่ สัมภาษณ์และสอบถามจากเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาว พบว่าเกษตรกรบางส่วนมีการเลี้ยงปลาโดยใช้อาหารสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาด ถึงแม้จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีก็ตาม แต่ก็ประสบปัญหาอาหารที่มีราคาสูง และต้องซื้อครวละหลายกระสอบ เกษตรกรบางส่วนจึงใช้ปลาสดเป็นอาหารในการเลี้ยงปลากะพงขาว เนื่องจากสามารถซื้อได้เป็นรายวัน อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยปลาสดก็ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการของปลาสด ที่แตกต่างกันตามฤดูกาลและชนิดของปลา รวมถึงการเสื่อมสภาพตามวิธีการและระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลต่อให้ปลาอ่อนแอ อัตราการรอดต่ำและ ความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อม น้ำเน่าเสีย นอกจากนี้ ปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยปลาสดมีต้นทุนค่าอาหารสูงกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป (Plaipetch, 2014) จึงได้มีการศึกษาแนวทางการพัฒนาอาหารต้นทุนต่ำ เพื่อลดต้นทุนด้านอาหารสำหรับการเลี้ยงปลากะพงขาวหลายแนวทาง เช่น การใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น (Boonyaratpalin *et al.*, 1998; Plaipetch *et al.*, 2014; Yanti *et al.*, 2019; Basto *et al.*, 2023) การใช้เศษไก่ป่นทดแทนปลาป่น (Nandakumar *et al.*, 2013) เป็นต้น

ถั่วเหลืองป่นและกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองมีสารต้านโภชนา (anti-nutritional factors; ANFs) ได้แก่ protease inhibitors, lectins, saponins, antivitamin เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการใช้ประโยชน์ของสารอาหารในสัตว์น้ำ ปริมาณการใช้กากถั่วเหลืองในอาหารจึงถูกจำกัด หากผสมในอาหารสัตว์น้ำในปริมาณมากเกินไปจะทำให้การกินอาหารและความสามารถในการย่อยอาหารลดลง ส่งผลให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้าลง (Phumee *et al.*, 2011; Glencross *et al.*, 2016) การกำจัดสารต้านโภชนาในถั่วเหลืองสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อน รังสีอินฟราเรด สารเคมี (Drew *et al.*, 2007) วิธีการดังกล่าวอาจทำลายสารอาหารหรือสารอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่สัตว์น้ำด้วย ขณะที่การใช้วิธีทางชีวภาพ (Bioprocess) เช่นการหมักด้วยจุลินทรีย์ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นอกจากสามารถลดหรือทำลายสารต้านโภชนาต่าง ๆ ในถั่วเหลืองแล้ว จุลินทรีย์ยังช่วยในการย่อยโมเลกุลของโปรตีนในกากถั่วเหลืองให้มีขนาดเล็กลงทำให้

สัตว์น้ำนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น รวมทั้งสร้างสารที่ช่วยในการใช้ประโยชน์จากอาหารหรือสารที่เป็นประโยชน์โดยตรงต่อสัตว์น้ำ (Chen *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2013) จุลินทรีย์ที่มีการนำมาใช้ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* กลุ่มราในสกุล *Aspergillus*, *Rhizopus* และ *Mucor* เป็นต้น เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* var. natto เป็นแบคทีเรียที่มีประโยชน์ชนิดหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้แบคทีเรียชนิดนี้ในการผลิตถั่วเหลืองหมัก นัตโต (natto) ซึ่งเป็นอาหารหมักพื้นถิ่นของญี่ปุ่นมาเป็นระยะเวลานาน และปัจจุบันได้มีแพร่หลายในหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย นัตโตเป็นอาหารหมักที่มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัว เกิดจากสารไพราซีน (pyrazine) ซึ่งมีกลิ่นคล้ายเนื้อสัตว์ที่ได้จากการหมัก (Ruiz Sella *et al.*, 2021) นอกจากนี้ *B. subtilis* var. natto ยังมีคุณสมบัติในการทำลายสารต้านโภชนา และทำให้โมเลกุลของโปรตีนในถั่วเหลืองมีขนาดเล็กลง (Weng & Chen, 2010) มีรายงานการใช้ *B. subtilis* var. natto ในอาหารปลาเงา (*Ctenopharyngodon idella*) พบว่าปลามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการแลกเนื้อลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Li *et al.*, 2017) และในกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารผสมเชื้อ *B. subtilis* var. natto มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีกว่ากลุ่มควบคุม เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ protease ในระบบทางเดินอาหารที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (Liu *et al.*, 2009)

ดังนั้นจึงได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของเชื้อ *Bacillus subtilis* var. natto ในการหมักถั่วเหลืองป่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบอาหารให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของปลากะพงขาว รวมถึงการใช้คุณสมบัติของกลิ่นเฉพาะตัว เป็นส่วนผสมในอาหารปลากะพงขาว เพื่อลดปริมาณปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากะพงขาวระยะวัยรุ่น และส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการเลี้ยงปลากะพงขาว อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตอาหารสำหรับสัตว์น้ำอื่น ๆ ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized design; CRD) ประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ อาหารทดลอง 3 ชนิด คือ อาหารสำเร็จรูปสำหรับปลากะพงขาว (CM) เป็นสูตรควบคุม อาหารผสมถั่วเหลืองหมัก (NT) และปลาสด (TF) เป็นสูตรเปรียบเทียบ

การเตรียมถั่วเหลืองหมักเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* var. natto

1. การแยกเชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis* var. natto จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักญี่ปุ่น (natto) โดยดัดแปลงวิธีการของ Weng & Chen (2010) นำผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมัก (natto) (ชนิด Food grade) ที่จำหน่ายทั่วไปตามห้างสรรพสินค้ามาเลี้ยงใน brain heart infusion agar (BHIA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนเชื้อเจริญบนอาหาร เลือกลโคไลนีเชื้อ natto นำมาเลี้ยงต่อใน brain heart infusion broth (BHIB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

2. การหมักถั่วเหลืองป่น

2.1 นำถั่วเหลืองป่นผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำหนึ่งซีกเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที วางทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงจนถึง 40 องศาเซลเซียส

2.2 นำหัวเชื้อที่เลี้ยงตามเวลาที่กำหนด (ข้อ 1) มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ที่มีส่วนผสม NaCl 0.85 เปอร์เซ็นต์ และ peptone 1 เปอร์เซ็นต์ให้มีปริมาณเชื้อ *B. subtilis* var. natto ประมาณ 1×10^9 CFU ต่อมิลลิลิตร

2.3 หมักถั่วเหลืองป่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (ข้อ 2.1) โดยเติมเชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis* var. *natto* ที่เตรียมไว้ (ข้อ 2.2) ปริมาณ 5 มิลลิเมตรต่อถั่วเหลืองป่น 1 กิโลกรัม ปั่นที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วหยุดกิจกรรมของแบคทีเรีย โดยการแช่ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาผสมอาหาร ทำการอบถั่วเหลืองหมักให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

2.4 วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองหมัก ได้แก่ โปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl ไขมัน ด้วยวิธี Soxhlet ความชื้น และเถ้า (AOAC, 1990) เพื่อนำมาคำนวณสร้างสูตรอาหาร (อาหาร NT)

การเตรียมอาหารผสมถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* var. *natto*

ผลิตอาหารเม็ดชนิดลอยน้ำ มีโปรตีนประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ (เท่ากับโปรตีนในอาหารสำเร็จรูป) ด้วยเครื่องผลิตอาหารแบบ extruder (ผลิตในประเทศไทย) โดยใช้ถั่วเหลืองหมักเชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis* var. *natto* ทดแทนปลาป่น 20 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งวัดดูตามกำหนด (Table 1) นำมาผสมในเครื่องผสมอาหาร เติมน้ำประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ผสมต่อจนส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดอาหาร ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำใส่ถุงพลาสติก เก็บไว้ในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างอาหารมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ความชื้น และเถ้า ตามวิธี AOAC (1990) ดังแสดงใน Table 1

การทดสอบประสิทธิภาพของอาหารทดลอง

สุ่มปลาน้ำหนักประมาณ 37-38 กรัม ใส่กระชังแบบลอย ในทะเลบริเวณชายฝั่ง ตำบลวังวน อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ขนาดยาว 2 เมตร กว้าง 1.5 เมตร ลึก 2 เมตร จำนวน 100 ตัวต่อกระชัง (อัตราการปล่อย 33 ตัว ต่อตารางเมตร) ให้อาหารปลากินจนอิ่ม โดย 30 วันแรก ให้อาหารวันละ 2 มื้อ (8.00 น. และ 17.00 น.) วันที่ 31 เป็นต้นไป ให้อาหารวันละ 1 มื้อ (8.00 น.) เป็นระยะเวลา 160 วัน

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักปลาที่ละตัวเมื่อเริ่มทดลอง และชั่งน้ำหนักแบบรวม เดือนที่ 1, 3, และสิ้นสุดการทดลอง โดยชั่งปลาทั้งหมด เพื่อใช้คำนวณการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) บันทึกปริมาณอาหารที่กิน (Feed intake; FI) เพื่อคำนวณอัตราแลกเนื้อ (Feed conversion ratio; FCR) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein efficiency ratio; PER) นับจำนวนปลาแต่ละหน่วยการทดลอง เพื่อหาอัตราการรอดตาย (Survival rate; SR) บันทึกปริมาณผลผลิต และคำนวณต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงปลา

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 1 ปัจจัย ตามแผนการทดลองแบบ CRD (One-way Analysis of Variance in Complete Randomize Design) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 11.0



Table 1 Ingredients composition, nutritional value and feed cost of experimental diets

Feed ingredients (%)	Experimental Diets		
	NT	CM ^a	TF ^b
Fish meal	47.00	NA	NA
fermented Soybean	14.00	NA	NA
Rice bran	6.80	NA	NA
Broken rice	20.00	NA	NA
Palm kernel cake	3.00	NA	NA
Corn meal	4.00	NA	NA
Cassava flour	1.00	NA	NA
Vegetable oil	3.40	NA	NA
Vitamin Mixture*	0.40	NA	NA
Mineral Mixture*	0.40	NA	NA
Nutritional Value (% dry matter basis)			
Protein	36.79	37.32	11.62
Lipids	4.06	10.14	1.74
Ash	16.20	7.16	2.05
Moisture	5.26	6.94	81.97
Gross energy (MJ kg ⁻¹)	16.55	19.20	3.41
Feed Cost (Baht kg ⁻¹)	33.20	50	18

In 1 kg of Vitamin Mix consist Vitamin A 10,000,000 IU, D3 2,000,000 IU, E 1,500 IU, thiamine 2 gm, riboflavin 2.5 gm, pantothenic acid 14 gm, pyridoxine 2 gm, cyanocobalamin 10 mg, folic 0.5 gm, niacin 12 gm K₃ 2 gm, and Vitamin C 20 gm

In 1 kg of Mineral Mix consist of Ca 100,000 mg, P 80,000 mg, Cu 2,500 mg, Fe 1,200 mg, Mn 1,200 mg, Zn 1,540 mg, K 260 mg, I 740 mg, Mg 2,160 mg, Se 10 mg, and Co 240 mg.

NA = non data

^a The compositions of CM diet are fish meal, squid meal, wheat flour, soybean meal, fish oil, vitamin mixture, mineral mixture, quality preservative compound

^b Nutritional value base on fresh fish

NT = Formulated diet contained fermented soybean meal

CM = Commercial diet for sea bass

TF = trash fish

ผลการวิจัย

การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลากะพงขาว

ปลากะพงขาวเมื่อเริ่มทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (Initial weight) ระหว่าง 37.00 ± 0.34 - 38.18 ± 0.20 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเลี้ยงด้วยอาหาร CM, NT และ TF เป็นระยะเวลา 160 วัน พบว่าปลากะพงขาวมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น น้ำหนักเฉลี่ย (Final weight) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยระหว่าง 485 ± 14.17 - 508 ± 23.30 กรัม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) มีค่าระหว่าง 1.54 ± 0.02 - 1.59 ± 0.30 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (ADG) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหาร CM มีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวันมากที่สุด (2.71 ± 0.14 กรัมต่อวัน) แต่ไม่ต่างจากปลาที่ได้รับอาหาร TF (มีค่า 2.60 ± 0.12 กรัมต่อวัน) ส่วนปลาที่ได้รับอาหาร NT มีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวันน้อยที่สุด (2.55 ± 0.09 กรัมต่อวัน) อัตรารอด (SR) ของปลากะพงขาวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 67.83 ± 0.31 - 73.83 ± 2.21 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

Table 2 Growth performance and survival rate of Asian sea bass fed on experimental diets for 160 days

Experimenta I Diets	Growth performance parameters				SR (%)
	Initial weight (g)	Final weight (g)	SGR (% day ⁻¹)	ADG(g D ⁻¹)	
CM	37.00 ± 0.34^a	508 ± 23.30^a	1.59 ± 0.30^a	2.71 ± 0.14^a	68.20 ± 2.27^a
NT	38.18 ± 0.20^a	485 ± 14.17^a	1.54 ± 0.02^a	2.55 ± 0.09^b	67.83 ± 0.31^a
TF	37.82 ± 0.41^a	492 ± 18.51^a	1.55 ± 0.30^a	2.60 ± 0.12^a	73.83 ± 2.21^a

All values are mean $\pm$ SD Obtained from four replicates.

The values in the same column with different superscript letters present significantly different ($P < 0.05$)

CM = Commercial diet for sea bass

NT = Formulated diet contained fermented soybean meal

TF = trash fish

ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากะพงขาว

ปริมาณอาหารที่กิน (FI) อัตราแลกเนื้อ (FCR) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (PER) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 160 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (Table 3) โดยปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร CM มีปริมาณอาหารที่กินน้อยที่สุด (506.73 ± 16.30 กรัมต่อตัว) รองลงมาเป็นปลาที่ได้รับอาหาร NT (687.64 ± 6.57 กรัมต่อตัว) ส่วนปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร TF มีปริมาณอาหารที่กิน มากที่สุด ($1,870.38 \pm 42.80$ กรัมต่อตัว) อัตราแลกเนื้อ (FCR) ของปลาที่ได้รับอาหาร CM และ ปลาที่ได้รับอาหาร NT มีอัตราแลกเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหาร TF

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร CM, NT และ TF มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร CM และ TF มีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร NT (Table 3)

Table 3 Feed utilization parameters of Asian sea bass fed on experimental diets for 160 days

Experimental Diets	Feed utilization parameters		
	Feed intake (g fish^{-1})	Feed conversion ratio	Protein efficiency ratio
CM	506.73 $\pm$ 16.30 ^a	1.23 $\pm$ 0.07 ^a	2.21 $\pm$ 0.12 ^a
NT	687.64 $\pm$ 6.57 ^b	1.55 $\pm$ 0.05 ^a	1.77 $\pm$ 0.06 ^b
TF*	1,870.38 $\pm$ 42.80 ^c	4.15 $\pm$ 0.19 ^b	2.09 $\pm$ 0.09 ^a

All values are mean $\pm$ SD Obtained from four replicates.

The values in the same column with different superscript letters present significantly different ($P<0.05$).

* Based on wet weight of trash fish

CM = Commercial diet for sea bass

NT = Formulated diet contained fermented soybean meal

TF = trash fish

ผลผลิตและต้นทุนค่าอาหาร

จากการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวพบว่า มีผลผลิตรวมเฉลี่ย 34.65 $\pm$ 1.95, 33.51 $\pm$ 1.06 และ 36.42 $\pm$ 1.46 กิโลกรัมต่อกระชัง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 4) ต้นทุนค่าอาหารต่อกระชังเฉลี่ย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปลาที่ได้รับอาหาร TF มีต้นทุนค่าอาหารต่อการชั่งมากที่สุด (2,482.93 $\pm$ 76.42 บาทต่อกระชัง) รองลงมาเป็นปลาที่ได้รับอาหาร CM (1,947.80 $\pm$ 22.79 บาทต่อกระชัง) ส่วนปลาที่ได้รับอาหาร NT มีต้นทุนค่าอาหารต่อกระชังน้อยที่สุด (1,559.63 $\pm$ 13.57 บาทต่อกระชัง) (Table 4)

ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตปลากะพงขาวน้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยคำนวณจากราคาอาหารและอัตราแลกเนื้อพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร NT มีต้นทุนค่าอาหารเฉลี่ยน้อยที่สุด (51.36 $\pm$ 1.70 บาทต่อปลา 1 กิโลกรัม) รองลงมาเป็นปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร CM (61.44 $\pm$ 3.48 บาทต่อปลา 1 กิโลกรัม) ส่วนปลาที่ได้รับอาหาร TF มีต้นทุนค่าอาหารเฉลี่ยมากที่สุด (74.75 $\pm$ 3.34 บาทต่อปลา 1 กิโลกรัม) (Table 4)

Table 4 Yield and feed cost of Asian sea bass fed on experimental diets for 160 days

Experimental Diets	Yield /cage (kg)	Feed cost (Baht)	
		Cost per cage	Cost per 1 kg of fish *
CM	34.65±1.95 ^a	1,947.80±22.79 ^b	61.44±3.48 ^b
NT	33.51±1.06 ^a	1,559.63±13.57 ^a	51.36±1.70 ^a
TF	36.42±1.46 ^a	2,482.93±76.42 ^c	74.75±3.34 ^c

All values are mean±SD Obtained from four replicates.

The values in the same column with different superscript letters present significantly different (P<0.05).

* Feed cost per 1 kg of fish = FCR × feed price (Baht kg⁻¹)

CM = Commercial diet for sea bass

NT = Formulated diet contained fermented soybean meal

TF = trash fish

วิจารณ์ผลการวิจัย

การทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ด้วยอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลากะพงขาว (CM) อาหารผสมถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อ *Bacillus subtilis* var. natto (NT) และปลาสด (TF) ในกระชังเป็นเวลา 160 วัน พบว่า น้ำหนักเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลาที่ได้รับอาหาร NT ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร CM และอาหาร TF อาหาร NT ซึ่งมีส่วนผสมของถั่วเหลืองหมัก ทำให้การกินอาหารของปลาทดลองเพิ่มขึ้น การหมักถั่วเหลืองด้วย *B. subtilis* จะมีการสร้างสารที่มีกลิ่น (flavor compounds) เช่น Butylated hydroxytoluene, Eucalyptol (Abd-Alrahman *et al.*, 2024) การใช้ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำสามารถทดแทนได้ไม่มาก เนื่องจากถั่วเหลืองมีสารต้านโภชนา (anti-nutritional factors) และความอยากกินอาหาร (palatability) น้อย (Phumee *et al.*, 2011, Daniel, 2018) ส่งผลให้ปลา มีการเจริญเติบโตลดลง กระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ (fermentation bioprocess) สามารถกำจัดสารต้านโภชนา ได้แก่ non-starch polysaccharide (NSP), trypsin inhibitor และ phytic acid และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงช่วยย่อย ให้โปรตีนมีขนาดเล็กลง ส่งผลต่อการกระตุ้นการกินอาหาร และการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (Chen *et al.*, 2013; Yanti *et al.*, 2019; Hamidoghli *et al.*, 2020; Phumee & Kerdprang, 2024) จากการศึกษาครั้งนี้ การกินอาหารของปลาทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมถั่วเหลืองหมัก (NT) มีการกินอาหารดีกว่าปลาที่ได้รับ CM ส่งผลให้ปลาที่ได้รับอาหาร NT มีการเจริญเติบโต ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหาร CM และ TF แม้ว่าถั่วเหลืองหมัก จะช่วยให้ปลากินอาหารและการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่ก็ต้องผสมในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่มากเกินไป มีรายงานการทดแทนปลาป่นด้วยถั่วเหลืองหมักว่าการทดแทนที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ปลา Japanese seabass (*Lateolabrax japonicas*) มีการเจริญเติบโตลดลง อัตราการแลกเนื้อเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการย่อยลดลง (Rahimnejad *et al.*, 2019)

อัตราแลกเนื้อของปลาที่ได้รับอาหาร NT มีค่าไม่ต่างจากปลาที่ได้รับอาหาร CM และมีค่าน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหาร TF แม้ว่าการผสมถั่วเหลืองหมักในอาหาร ช่วยส่งเสริมการกินอาหารแก่ปลากะพงขาว แต่ปริมาณอาหารที่กินก็น้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหาร TF ส่งผลให้อัตราแลกเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารดังกล่าว น้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหาร TF ทั้งนี้เนื่องจากอาหาร NT และ CM มีปริมาณโปรตีนรวมในอาหารใกล้เคียงกัน คือ 36.79 และ 37.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่อาหาร TF มีปริมาณโปรตีนรวม 11.62 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ปลากะพงขาวในระยะปลารุ่น (grow-out stage) ที่มีความต้องการโปรตีนประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ (Boonyaratpalin & Williams, 2002) ต้องกินอาหารในปริมาณมากขึ้น เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนตามที่ร่างกายต้องการ จึงส่งผลให้อัตราแลกเนื้อของปลาที่ได้รับอาหาร TF สูงขึ้น Plaipetch *et al.* (2008) รายงานผลการศึกษาในปลากะพงขาว ว่าปลาทดลองที่ได้ปลาสดเป็นอาหาร มีปริมาณอาหารที่กินและอัตราแลกเนื้อสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูป

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร NT มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ต่ำกว่าปลาที่กินอาหาร CM และ TF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากโดยธรรมชาติปลากะพงขาวเป็นปลาในกลุ่มกินเนื้อ (carnivorous) ที่กินปลาอื่นเป็นอาหาร สามารถย่อยและใช้โปรตีนจากสัตว์ได้ดี (Petersen *et al.*, 2011) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการใช้โปรตีนจากปลาสด (TF) ดีกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหาร NT Wisesso *et al.* (2021) ได้รายงานประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลากะพงขาวว่า ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากถั่วเหลืองหมักได้ดีไม่ต่างจากปลาป่น และดีกว่าโปรตีนจากข้าวโพด ขณะที่ Thompson *et al.* (2008) รายงานว่าปลา Sunshine bass ซึ่งเป็นปลากินเนื้อ มีความสามารถในการย่อยอาหารที่มีส่วนประกอบของปลาป่น ได้ดีกว่ากากถั่วเหลืองป่น และเช่นเดียวกัน Mundheim *et al.* (2004) รายงานว่า ปลาแซลมอล (*Salmo salar*) สามารถย่อยโปรตีนจากปลาป่นได้ดีกว่าโปรตีนจากพืช จากรายงานการศึกษาที่มีการรายงานแตกต่างกันไป ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ อาหาร CM ที่ใช้เลี้ยงปลากะพงขาว แหล่งโปรตีนหลักมาจากปลาป่น หมักป่น และกากถั่วเหลือง แต่ในอาหาร NT มีการทดแทนปริมาณปลาป่นในสูตรอาหารด้วยถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อ *B. subtilis* var. natto ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนจากปลาป่น และส่วนประกอบจากพืชอื่น ๆ ได้แก่ ปลายข้าว รำข้าว กากเมล็ดปาล์ม และข้าวโพดป่น จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร NT ต่ำกว่าอาหารชนิดอื่น ถึงแม้การใช้ถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อ *B. subtilis* var. natto เป็นส่วนประกอบของอาหาร ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการย่อยและการใช้โปรตีน ก็ยังไม่สูงเท่าปลาป่น (He, *et al.*, 2020; Rahimnejad *et al.*, 2021)

ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารแต่ละชนิด มีปริมาณอาหารที่กิน (FI) อัตราการแลกเนื้อ (FCR) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตต่อกระชัง ปลากะพงขาวแต่ละกลุ่มมีผลผลิตต่อกระชังไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อคำนวณต้นทุนค่าอาหารในการผลิตปลากะพงขาวต่อกระชัง และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม พบว่าต้นทุนค่าอาหารของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร NT ต่ำกว่าปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร CM และ TF ตามลำดับ โดยปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร NT มีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่า ปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร CM และ TF ประมาณ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากอาหาร NT มีต้นทุนการผลิตอาหาร 33.20 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่อาหาร CM มีราคา 50 บาทต่อกิโลกรัม และถึงแม้ว่าอาหาร TF จะมีราคาต่ำที่สุด คือ 18 บาทต่อกิโลกรัม แต่อาหาร TF มีปริมาณอาหารที่กิน มากกว่า และอัตราแลกเนื้อสูงกว่าด้วย จึงทำให้มีต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงสูงที่สุดในการทดลองครั้งนี้

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อ *Bacillus subtilis* var. natto เป็นส่วนผสมในอาหาร สำหรับปลากะพงขาว มีการเจริญเติบโต อัตรารอด และให้ผลผลิตไม่ต่างจากการเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลากะพงขาว และปลาสอด แต่มีต้นทุนด้านอาหาร ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับอาหารอีก 2 ชนิด จึงเป็นอีกทางเลือกของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา กะพงขาว เพื่อลดต้นทุน และเพิ่มรายได้ให้สูงขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี พุทธศักราช 2564 ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ในการสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยการวิจัย และนักศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง ที่ให้การสนับสนุนต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- Abd-Alrahman, A. M., Ramadan, M. M., Maraay, M. F., Salem, R., Saleh, F. M., Hashim, M. A., Zhernyakova, A., & El-Messery, T. M. (2024). Production of natural flavor compounds using *Bacillus subtilis*-fermented soybean meal extract and their biological potential: a comprehensive in vitro study. *Frontiers in nutrition*, 10, 1280209. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1280209>
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis (Volume 1). (15th ed). Virginia, USA Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Basto, A., Valente, L. M. P., Sousa, V., Conde-Sieira, M., & Soengas, J. L. (2023). Total fishmeal replacement by defatted *Tenebrio molitor* larvae meal induces alterations in intermediary metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of animal science*, 101, skad040. <https://doi.org/10.1093/jas/skad040>
- Boonyaratpalin, M., Suraneiranat, P., & Tulpibal, T. (1998). Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for the Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 161(1-4), 67-78.
- Boonyaratpalin, M. , & Williams, K. (2002). Asian Sea Bass, *Lates calcarifer*. In Webster, C. D. & Lim, C. E. eds. Nutrient Requirements & Feeding of Finfish for Aquaculture. (pp.40-50). Alabama, USA. CABI Publishing.



- Chen, L., Madl, R. L., Vadlani, P. V., Li, L., & Wang, W. (2013). Value-added products from soybean: removal of anti-nutritional factors via bioprocessing. *Soybean: a review*, 161-179.
<https://www.intechopen.com/chapters/42947>
- 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.
- Drew, M. D., Borgeson, T. L., & Thiessen, D. L. (2007). A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology*, 138(2), 118-136.
- Fisheries Statistics Group. (2023). Statistics of Marine Fish Farms Survey 2022. Fisheries Development Policy and Planning Division, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 37p.
- Glencross, B., Blyth, D., Irvin, S., Bourne, N., Campet, M., Boisot, P., & Wade, N.M. (2016). An evaluation of the complete replacement of both fishmeal and fish oil in diets for juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 451, 298-309.
- Hamidoghli, A., Won, S., Farris, N. W., Bae, J., Choi, W., Yun, H., & Bai, S. C. (2020). Solid state fermented plant protein sources as fish meal replacers in white leg shrimp *Litopaeneus vannamei*. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114474. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114474>
- He, M., Yu, Y., Li, X., Poolsawat, L., Yang, P., Bian, Y., Gou, Z., & Leng, X. (2020). An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in the diets of largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Growth, nutrition utilization and intestinal histology. *Aquaculture Research*, 51(10), 4302-4314.
- Li Z. J., Chen Y. H., Zhang J. Z., Zhu X., Zhang J. S., Chen D. X., Wang K. Z., Hu Y., & Chu W. Y. (2017). Effects of dietary *Bacillus natto* supplementation on growth performance and the growth related gene microRNA expression in the skeletal muscle of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture Nutrition*, 23(1), 46-53.
- Liu C.H., Chiu C. H., Ho P. L. , & Wang S. W. (2009). Improvement in the growth performance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, by a protease-producing probiotic, *Bacillus subtilis* E20, from natto. *Journal of Applied Microbiology*, 107, 1031–1041.



- Mundheim, H., Aksnes, A., & Hope, B. (2004). Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. *Aquaculture*, 237(1-4), 315-331.
- Nandakumar, S., Ambasankar, K., Dayal, J. S., Raman, C., & Ali, S. R. (2013). Fish meal replacement with chicken waste meal in Asian seabass (*Lates calcarifer*) feeds. *Indian J. Fish*, 60(2), 109-114.
- Petersen E. H., Chinh D.T.M., Diu N.T., Phuoc V.V., Phuong T.H., Dung N.V., Dat N.K., & Giang P.T. (2011). Bioeconomics of Asian seabass, *Lates calcarifer*, culture in Vietnam. Available at <https://www.researchgate.net/publication/265277722>.
- Plaipetch, P., Tamtin, M., Chaikul, S. L., Kuekaew, J., Muengyao, P., Samranrat, N., & Thongrod, S. (2008). Comparison on growth performance and meat quality of sea bass fed with trash fish and pellets. In Proceedings of the 45th Kasetsart University Annual Conference. (pp. 156-166). Bangkok, Thailand : Kasetsart University.
- Plaipetch, P. (2014). Advances in Nutritional researches on Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790). *KKU Res. J.*, 19(4), 571-584.
- Plaipetch P., Kuekaew, J., Tamtin, M., & Choncheunchob, P. (2014). Effect of low dietary fishmeal on Growth, Nitrogen Loading and Some Physical and Chemical Indices of Asian Sea Bass *Lates calcarifer* (Bloch, 1790). *Kasetsart J.(Nat.Sci.)*, 48, 1-11.
- Phumee, P., & Koedprang, W. (2024). Replacement of Fish Meal with a Combination of Fermented Fish and Soybean Meal in the Diet of Juvenile Asian Seabass, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790). *Journal of Fisheries & Environment*, 48(1), 168-174.
- Phumee, P., Wei, W. Y., Ramachandran, S., & Hashim, R. (2011). Evaluation of soybean meal in the formulated diets for juvenile *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878). *Aquaculture Nutrition*, 17(2), 214-222.
- Rana, K. J., Siriwardena, S., & Hasan, M. R. (2009). Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production. In FAO (Ed.), *Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. (pp. xii+-63). Rome, Italy: Food, Agriculture Organization of the United Nations. doi/full/10.5555/20103269836



- Rahimnejad, S., Zhang, J. J., Wang, L., Sun, Y., & Zhang, C. (2021). Evaluation of *Bacillus pumillus* SE5 fermented soybean meal as a fish meal replacer in spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) feed. *Aquaculture*, 531, 735975. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735975
- Rahimnejad, S., Lu, K., Wang, L., Song, K., Mai, K., Davis, D. A., & Zhang, C. (2019). Replacement of fish meal with *Bacillus pumillus* SE5 and *Pseudozyma aphidis* ZR1 fermented soybean meal in diets for Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 84, 987-997.
- Ruiz Sella, S.R.B., Bueno, T., de Oliveier, A.A.B., Karp, S.G., & Soccol, C.R. (2021). *Bacillus subtilis* natto as a potential probiotic in animal nutrition. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(3), 355-369. Doi.org/10.1080/07388551.2020.1858019.
- Sharma, S., Goyal, R., & Barwal, S. (2013). Domestic processing effects on physicochemical, nutritional and anti-nutritional attributes in soybean (*Glycine max* L. Merill). *International Food Research Journal*, 20(6), 3203-3209.
- Thompson, K. R., Rawles, S. D., Metts, L. S., Smith, R. G., Wimsatt, A., Gannam, A. L., Twibell, R. G., Johnson, R. B., Brady, Y. J., & Webster, C. D. (2008). Digestibility of dry matter, protein, lipid, and organic matter of two fish meals, two poultry by-product meal, soybean meal, and distiller's grains with solubles in practical diets for Sunshine bass, *Morone chrysops* × *M. saxatilis*. *J. World Aquaculture Society*, 39(3), 352-363.
- Weng T. M. , & Chen M. T. (2010). Changes of protein in natto (a fermented soybean food) affected by fermenting time. *Food Sci. Technol. Res.*, 16(6), 537-542.
- Wisoso, N., Chainark, P. , & Rattana, W. (2021). Fish meal replacement with alternative protein sources in sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch,1790) diet. Technical paper No.8/2021.Coatal Aquaculture Research and Development Division, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Yanti, M., Dewiyanti, I., Nurfadhilah, N., Nur, F.M., Batubara, A.S., Tahang, M., & Muchlisin, Z.A. (2019). Replacement of fishmeal with soybean meal for the diet of seabass, *Lates cacarifer*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 348: 012105. DOI: 10.1088/1755-1315/348/1/012105