บทความวิจัย (Research Article)

ผลการใช้แหนแดงอบแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารปลายี่สกเทศ

Effects of Dried *Azolla* Meal as a Substitute for Soybean Meal in Diets of *Labeo rohita*

อภิรัตน์ เอกชาติปัญญา[1] ณัทธิยา ชำนาญค้า[1] สุกัญญา คำหล้า[1] พัชราวลัย ศรียะศักดิ์[1] สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี[1] และ นัยนา เสนาศรี[1*]

Apirat Eakchatpana[1], Nattiya Chumnanka[1], Sugunya Kumla, Patcharawalai Sriyasak[1],
Supannee Suwanpakdee[1] and Naiyana Senasri[1*]

[1]สาขาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

[1]Fisheries Department, Faculty of Science, Rajamamgala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus

*Corresponding author: naiyana.se@rmuti.ac.th

วันที่รับบทความ (Received)	วันที่ได้รับบทความฉบับแก้ไข (Revised)	วันที่ตอบรับบทความ (Accepted)
31 มีนาคม 2569	26 มิถุนายน 2569	26 มิถุนายน 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแหนแดง (*Azolla pinnata*) อบแห้งทดแทนจากกากถั่วเหลืองในอาหารปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดทดลองละ 3 ซ้ำ สูตรการเตรียมอาหารที่มีแหนแดงอบแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนจากกากถั่วเหลืองต่างระดับที่ 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ มีองค์ประกอบโปรตีนในอาหาร 29.42, 29.37, 27.77 และ 27.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองใช้ปลายี่สกเทศน้ำหนักเฉลี่ย 4.91 กรัม ทำการเลี้ยง 90 วัน ในกระชังขนาด 2 × 2 × 1 เมตร อัตราปล่อย 100 ตัวต่อกระชัง การศึกษา พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 20.91±3.76, 19.54±2.69, 21.37±2.74 และ 21.95±1.78 กรัม ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 0.23±0.06, 0.20±0.02, 0.28±0.07 และ 0.25±0.05 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เท่ากับ 1.82±0.25, 1.70±0.13, 2.01±0.27 และ 1.90±0.19 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน อัตราการรอดตาย 41.00±3.06, 46.67±2.51, 56.00±19.67 และ 47.33±4.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 2.40±0.37, 2.61±0.25, 2.18±0.34 และ 2.29±0.25 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 0.42±0.06, 0.38±0.03, 0.46±0.07 และ 0.43±0.05 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในสูตรอาหารทดลองของปลายี่สกเทศ เท่ากับ 1.36±0.19, 1.31±0.13, 1.67±0.26 และ1.66±0.19 ตามลำดับ แต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผลการศึกษา พบว่า กลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยแหนแดงในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มให้อัตราการรอดตายสูงกว่ากลุ่มอื่นและไม่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง ผลการศึกษครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า แหนแดงอบแห้งสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารปลายี่สกเทศได้ถึงระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบสูตรอาหารกลุ่มอื่นที่มีโปรตีนสูงกว่า โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหาร

คำสำคัญ: ปลายี่สกเทศ, แหนแดง, กากถั่วเหลือง, โปรตีนทางเลือก

Abstract

This study aimed to evaluate the effectiveness of dried Azolla (*Azolla pinnata*) as a replacement for soybean meal in the diets of rohu fish (*Labeo rohita*). The experiment consisted of four dietary treatments with three replicates per treatment. Experimental diets were formulated by replacing soybean meal protein with dried Azolla at levels of 0, 20, 40, and 60%, resulting in crude protein contents of 29.42, 29.37, 27.77, and 27.15%, respectively. Rohu juveniles with an average initial weight of 4.91 g were reared for 90 days in cages (2 × 2 × 1 m) at a stocking density of 100 fish per cage. At the end of the experiment, the average weight gain was 20.91 ± 3.76, 19.54 ± 2.69, 21.37 ± 2.74, and 21.95 ± 1.78 g for the 0, 20, 40, and 60% replacement groups, respectively. The average daily gain was 0.23 ± 0.06, 0.20 ± 0.02, 0.28 ± 0.07, and 0.25 ± 0.05 g day^{-1}, while the specific growth rate was 1.82 ± 0.25, 1.70 ± 0.13, 2.01 ± 0.27, and 1.90 ± 0.19% day^{-1}, respectively. Survival rates were 41.00 ± 3.06, 46.67 ± 2.51, 56.00 ± 19.67, and 47.33 ± 4.10%, respectively. Feed conversion ratios were 2.40 ± 0.37, 2.61 ± 0.25, 2.18 ± 0.34, and 2.29 ± 0.25, while feed efficiency values were 0.42 ± 0.06, 0.38 ± 0.03, 0.46 ± 0.07, and 0.43 ± 0.05, respectively. The protein efficiency ratio was 1.36 ± 0.19, 1.31 ± 0.13, 1.67 ± 0.26, and 1.66 ± 0.19, respectively No significant differences were observed among treatments for growth performance, feed utilization, or survival ($p > 0.05$). However, fish fed the diet containing 40% dried Azolla exhibited a tendency toward higher survival compared with the other treatments without any adverse effects on growth performance. The findings indicate that dried Azolla can be used as an alternative protein source to replace soybean meal in rohu diets at levels up to 40% without negatively affecting growth performance or feed utilization, despite having a lower dietary protein content than some of the other experimental diets.

Keywords: Rohu, Azolla, Soybean meal, Alternative protein

บทนำ

ปลายี่สกเทศ หรือปลาโรฮู่ (*Labeo rohita*) เป็นปลาน้ำจืดขนาดใหญ่ชนิดหนึ่ง จัดเป็นปลาพื้นเมืองของประเทศอินเดีย และถูกนำเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2510–2511 โดยจัดอยู่ในกลุ่มปลาคาร์พอินเดีย ซึ่งประกอบด้วยปลายี่สกเทศ ปลานวลจันทร์เทศยิ่งไปกว่านั้นยังรวมถึงปลานิลด้วย [1] ซึ่งปัจจุบันปลายี่สกเทศถือเป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและได้รับความนิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย ปลายี่สกเทศมีลักษณะเด่นหลายประการ ได้แก่ สามารถเลี้ยงได้ง่าย มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อีกทั้งยังสามารถนำไปแปรรูปและประกอบอาหารได้หลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปลาชนิดนี้จะมีศักยภาพสูงในการผลิต แต่ปริมาณผลผลิตทั้งจากธรรมชาติและการเพาะเลี้ยงยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในด้านการจัดการอาหารซึ่งเป็นต้นทุนหลักของการผลิตจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้อย่างยั่งยืน

ในปัจจุบัน กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [2] รายงานผลการจับสัตว์น้ำทั้งหมดจำแนกตามวิธีการประมง 2564 พบว่า การจับสัตว์น้ำจืดคิดเป็นร้อยละ 4.7 ของการทำการประมงทั้งหมด หรือประมาณ 112,604 ตัน โดยเป็นการจับจากแหล่งน้ำประเภทหนอง บึง และแหล่งน้ำอื่น ๆ มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 38.19 รองลงมาคือแหล่งน้ำประเภทแม่น้ำ ลำคลอง และห้วย ร้อยละ 36.16 อ่างเก็บน้ำ ร้อยละ 23.85 และบ่อล่อ ร้อยละ 0.49 เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของปริมาณ

การจับสัตว์น้ำจืดในแต่ละภูมิภาค พบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณการจับจากธรรมชาติมากที่สุด 59,432.18 ตัน (ร้อยละ 52.78) รองลงมาคือภาคเหนือ 30,802.09 ตัน (ร้อยละ 27.35) และภาคตะวันตกมีปริมาณการจับน้อยที่สุด 4,889.43 ตัน (ร้อยละ 4.34) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตจากแหล่งน้ำจืดทุกประเภทมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงปี พ.ศ. 2554–2564 ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น ความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศ การเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ การรุกรานของสัตว์น้ำต่างถิ่น รวมถึงการทำการประมงเกินศักยภาพการผลิต (overfishing) ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพและความสมดุลของระบบนิเวศน้ำจืด ทำให้ปริมาณสัตว์น้ำในธรรมชาติลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การส่งเสริมและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดจึงมีบทบาทสำคัญในการทดแทนผลผลิตจากธรรมชาติ และรองรับความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

แม้ว่าในปัจจุบัน กรมประมงจะดำเนินการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์ปลายี่สกเทศอย่างต่อเนื่อง และจัดให้เป็นหนึ่งในปลาน้ำจืดเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภค แต่ยังไม่มีรายงานว่าสามารถขยายพันธุ์ได้เองตามธรรมชาติในแหล่งน้ำจืดของประเทศไทย [3] ดังนั้น ปลายี่สกเทศจึงยังคงต้องอาศัยการเพาะพันธุ์และการเลี้ยงในระบบที่มีการจัดการอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีขนาดและคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด อย่างไรก็ตาม การเพาะเลี้ยงปลายี่สกเทศมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง โดยเฉพาะต้นทุนค่าอาหารซึ่งคิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 60 ของต้นทุนทั้งหมด [4] ทั้งนี้ แหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำถือเป็นองค์ประกอบหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการผลิต โดยปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน อย่างไรก็ตาม ความต้องการใช้ปลาป่นที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับปริมาณการผลิตที่ลดลงและข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ราคาปลาป่นมีแนวโน้มสูงขึ้นและมีความผันผวน [5,6] ด้วยเหตุนี้ จึงมีความพยายามในการพัฒนาและค้นหาแหล่งโปรตีนทดแทนที่มีต้นทุนต่ำและมีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสมมาใช้ในสูตรอาหารสัตว์น้ำ โดยโปรตีนจากพืช เช่น กากถั่วเหลือง ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในฐานะวัตถุดิบทางเลือก เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าปลาป่นและมีองค์ประกอบกรดอะมิโนที่ค่อนข้างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม กากถั่วเหลืองยังคงมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบจากพืชชนิดอื่น และมีแนวโน้มราคาผันผวนตามภาวะตลาดโลก ดังนั้น การค้นหาแหล่งโปรตีนทางเลือกใหม่ที่มีราคาถูก หาได้ง่ายในท้องถิ่น และสามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มความยั่งยืนของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระยะยาว

แหนแดง (*Azolla spp.*) เป็นพืชน้ำในกลุ่มเฟิร์นชนิดลอยน้ำ พบได้ทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่น โดยเจริญเติบโตลอยอยู่บนผิวน้ำที่มีน้ำขัง โครงสร้างของแหนแดงประกอบด้วยลำต้น ราก และใบ โดยลำต้นมีขนาดประมาณ 0.5–0.7 เซนติเมตร และสามารถยาวได้ถึง 40 เซนติเมตร มีการแตกกิ่งออกจากลำต้น ใบเรียงสลับตามกิ่งและแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ใบบน (upper lobe) และใบล่าง (lower lobe) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกันและไม่มี ก้านใบ ใบล่างมีลักษณะโปร่งแสงและมีคลอโรฟิลล์น้อย ส่วนใบบนมีสีเขียวและมีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่รากมีลักษณะเป็นเส้นสีขาว แตกออกจากโคนลำต้นและห้อยลงในน้ำ ลักษณะเด่นของแหนแดงคือบริเวณช่องว่างในใบส่วนบน ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของไซยาโนแบคทีเรีย *Anabaena azollae* ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (nitrogen fixation) ได้ ทำให้แหนแดงมีปริมาณไนโตรเจนสูงประมาณ 2–4.5% ของน้ำหนักแห้ง [7,8,9] ส่งผลให้แหนแดงเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยประกอบด้วยสารสำคัญ เช่น โปรตีน ไขมัน และเซลลูโลส อีกทั้งยังสามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ดีจากการใช้ไนโตรเจนที่ตรึงได้ อย่างไรก็ตาม เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเข้มแสงสูงเกินไป หรือปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอ แหนแดงจะเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นสีน้ำตาลอมแดง [10]ปัจจุบันแหนแดงที่พบทั่วโลกมีประมาณ 7 ชนิด ได้แก่ *A. filiculoides, A. caroliniana, A. mexicana, A. rubra, A. microphylla, A. nilotica* และ *A. pinnata* [11] สำหรับในประเทศไทยนิยมเพาะเลี้ยง 2 ชนิด ได้แก่ *A. pinnata* ซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมือง และ *A. microphylla* ซึ่งถูกนำเข้ามาเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถตรึงไนโตรเจนได้มาก และเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย [12] โดยทั่วไปแหนแดงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.5–7.5 [13] จึงเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ ในด้าน

การเกษตรและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกด้านโปรตีนที่มีศักยภาพสูง นอกจากนี้ แหนแดงยังมีข้อดีในด้านการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว สามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลได้ภายในระยะเวลาอันสั้น ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์น้ำได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีต้นทุนการผลิตต่ำและสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่ายในระดับฟาร์ม จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตและส่งเสริมความยั่งยืนของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ แหนแดงยังมีองค์ประกอบทางโภชนาการที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์น้ำ โดยมีรายงานว่ามีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 18.6–20.4 ไขมันร้อยละ 3.3–4.2 เส้นใยร้อยละ 10.3–15.8 และเถ้าร้อยละ 15.5–18.5 [1] อีกทั้งยังมีปริมาณธาตุอาหารสำคัญ เช่น ไนโตรเจนและโพแทสเซียมรวมในระดับสูง โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.69 และ 5.01 ตามลำดับ [14] นอกจากนี้ แหนแดงยังอุดมไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด เช่น ไลซีน เมไทโอนีน และทรีโอนีน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ รวมถึงมีวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็น เช่น วิตามินเอ วิตามินบีรวม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็ก ซึ่งช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายสัตว์น้ำ อีกทั้งยังพบว่าสารประกอบในแหนแดงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีรงควัตถุธรรมชาติ เช่น แคโรทีนอยด์ ที่ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันและเพิ่มคุณภาพของเนื้อสัตว์ [15,16,17]และยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนการใช้แหนแดงในสูตรอาหารสัตว์น้ำอย่างต่อเนื่อง อนุรักษ์และคณะ [18] รายงานว่าสามารถใช้แหนแดงในอาหารปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus*) ได้ในระดับสูงถึงร้อยละ 26 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ขณะที่การศึกษาของ Fiogbe et al. [19] พบว่าการเสริมแหนแดงในระดับร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Refaey et al. [20] พบว่า การใช้แหนแดงสด (*Azolla pinnata*) เป็นอาหารเสริมในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ในระดับ 10–40% ของอาหาร สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต การทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร และสุขภาพลำไส้ของปลาได้ โดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่ออัตราการรอดตายและคุณภาพเนื้อปลา นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แหนแดงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้ประโยชน์อาหาร และมีผลดีต่อระบบภูมิคุ้มกันและสถานะทางสรีรวิทยาของปลา และ Yilmaz, E et al. [21] พบว่า การเสริมแหนแดงในระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการกินอาหารและอัตราการรอดตายของปลา

อย่างไรก็ตาม หากใช้ในระดับที่สูงเกินไปอาจส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณเส้นใย (fiber) ที่สูงในแหนแดง นอกจากนี้ แหนแดงยังมีบทบาทสำคัญในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบยั่งยืน เนื่องจากสามารถดูดซับธาตุอาหารส่วนเกินและสารมลพิษในน้ำได้ดี จึงสามารถใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำหรือการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสาน (integrated aquaculture) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย ในระดับฟาร์ม ทำให้เหมาะสมสำหรับเกษตรกรรายย่อยในการลดต้นทุนค่าอาหาร [22,23] ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า แหนแดงมีศักยภาพสูงในการใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแหล่งโปรตีนแบบดั้งเดิม เช่น ปลาป่นหรือกากถั่วเหลือง อย่างไรก็ตาม ระดับการใช้ที่เหมาะสมยังคงแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา รูปแบบการเลี้ยง และการแปรรูปแหนแดง [23,24] ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาระดับการใช้ที่เหมาะสมในปลายี่สกเทศ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพการเลี้ยงในประเทศไทย จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าแหนแดงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการใช้ทดแทนแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลือง ในสูตรอาหารสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านคุณค่าทางโภชนาการและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับระดับการใช้ที่เหมาะสมของแหนแดงในอาหารปลายี่สกเทศยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในด้านผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหาร และอัตราการรอดตายของปลา

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้แหนแดงอบแห้งในระดับต่างๆ เพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหาร และอัตราการรอดตายของปลายี่สกเทศ ทั้งนี้ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงสูตรอาหารสัตว์น้ำที่มีต้นทุนต่ำใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนส่งเสริมความยั่งยืนของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระยะยาว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของอาหารสูตรผสมแหนแดงต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหาร และอัตราการรอดตายของปลายี่สกเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) เพื่อศึกษาผลของการใช้ประโยชน์โปรตีนจากแหนแดงอบแห้งในสูตรอาหารปลายี่สกเทศที่ระดับแตกต่างกัน ในการทดลองใช้ลูกปลายี่สกเทศ จำนวน 300 ตัวต่อชุดการทดลอง (ซ้ำละ 100 ตัว) โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง (treatment) ในแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 สูตรอาหารที่มีแหนแดง 0 เปอร์เซ็นต์ (กลุ่มควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 สูตรอาหารที่มีแหนแดงเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 20 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 3 สูตรอาหารที่มีแหนแดงเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 40 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 4 สูตรอาหารที่มีแหนแดงเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 60 เปอร์เซ็นต์

2. การเตรียมการทดลอง

เตรียมกระชังไนล่อนขนาด 16 ช่องตา กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 1 เมตร จำนวน 12 กระชัง วางกระชังในบ่อเลี้ยงปลาขนาด 4,800 ตารางเมตร ระดับความสูงของน้ำในบ่อวางกระชัง 3.5 เมตร

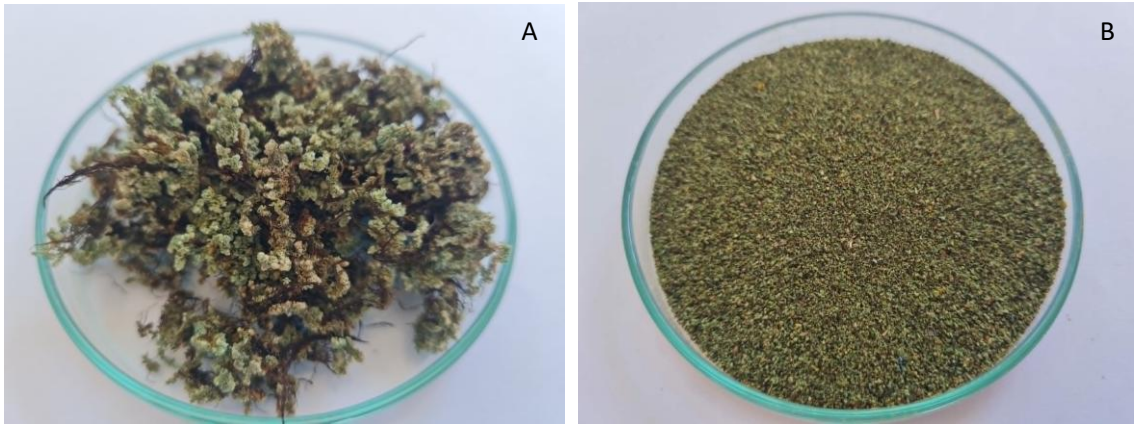
2.1 การเตรียมสัตว์ทดลอง

การศึกษาผลของการใช้ประโยชน์โปรตีนจากแหนแดงอบแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารปลายี่สกเทศในระดับแตกต่างกัน โดยทำการเพาะเลี้ยงและอนุบาลลูกปลา 3 เดือน ทำการสุ่มนำมาทดลอง โดยลูกปลามีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 4.86-4.98 กรัม และมีความยาวเริ่มต้น 7.43-7.69 เซนติเมตร โดยคัดเลือกปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 1,800 ตัว จากนั้นสุ่มตัวอย่างปลาจำนวน 472 ตัว (คิดเป็นร้อยละ 26.22) เพื่อตรวจวิเคราะห์ตามวิธีการของ Ahouasou [25] สำหรับปลาส่วนที่เหลือถูกสุ่มปล่อยลงในกระชังทดลองที่ระดับความหนาแน่น 25 ตัวต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นอัตราการปล่อยที่เหมาะสมตามรายงานของ นเรศ และคณะ [26]

2.2 การเตรียมอาหารทดลอง

การเตรียมอาหารทดลองสำหรับการศึกษาผลของการใช้ประโยชน์โปรตีนจากแหนแดงอบแห้ง (อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) ในสูตรอาหารปลายี่สกเทศที่ระดับแตกต่างกัน โดยนำวัตถุดิบแหนแดงอบแห้งมาใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารตามระดับที่กำหนดตามชุดการทดลอง ดังแสดงใน Table 1 จากนั้นนำวัตถุดิบทั้งหมดมาผสมให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ และเติมน้ำในปริมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักอาหาร เพื่อให้เหมาะสมต่อการขึ้นรูป สำหรับผสมอาหารจะนำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดชนิดอาหารลอยน้ำ โดยใช้หน้าแว่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำอาหารที่อัดเม็ดแล้วไปผึ่งลมให้แห้งจนมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.92–7.74 ใส่ตู้เย็นเก็บไว้ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง

จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างอาหารที่นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate composition) ตามวิธีของ AOAC [27] เพื่อประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองแต่ละสูตร โดยแหนแดงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ (Figure 1) ในการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะ พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีนร้อยละ 22.02 ไขมันร้อยละ 2.02 ความชื้นร้อยละ 5.93 เถ้าร้อยละ 13.63 และเส้นใยร้อยละ 8.37 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแหนแดงในการเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชสำหรับใช้ในอาหารสัตว์น้ำ



A: Azolla (*Azolla pinnata*) after drying B: Finely ground dried Azolla (*Azolla pinnata*)

Figure 1 Dried Azolla (*Azolla pinnata*) used in the experimental diets

Table 1 Formulation of experimental diet and nutrient composition

Ingredients	Level of Azolla supplementation in diet			
	0%	20%	40%	60%
Fish meal (protein 58%)	19	19	19	19
Soybean meal (protein 45.5 %)	32	25.6	19.2	12.8
Corn (protein 8.2 %)	10	10	10	10
Rice bran (protein 12.1 %)	32	32	32	32
Wheat flour (protein 12.7 %)	5	5	5	5
Azolla (protein 22.02 %)	0	6.4	12.8	19.2
Soya oil	1	1	1	1
Premix	1	1	1	1
Total	**100**	**100**	**100**	**100**
Nutrient composition (%)				
Crude protein	29.42	29.37	27.77	27.15
Fat	1.09	1.03	0.39	0.30
Fiber	13.76	12.03	12.36	10.70
Moisture	10.50	10.78	10.83	11.89
Ash	23.26	24.71	25.25	26.81

2.3 การให้อาหาร

ให้อาหารทดลองตามสูตรที่กำหนดวันละ 2 ครั้ง เวลา 08.00 น. และ 16.00 น. ในปริมาณร้อยละ 3–5 ของน้ำหนักปลาในแต่ละชุดทดลอง โดยกำหนดระยะเวลาการเลี้ยงปลายี่สกเทศเป็นเวลา 90 วัน และมีการปรับปริมาณการให้

อาหารทุก ๆ 15 วันตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวปลา ตลอดระยะเวลาการทดลองมีการบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวันอย่างสม่ำเสมอ และงดการให้อาหารในวันที่มีการสุ่มตัวอย่างเพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาวปลา

การติดตามการเจริญเติบโตดำเนินการทุก 15 วัน โดยสุ่มปลายี่สกเทศ 30 ตัว จากแต่ละกระชังมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง หน่วยเป็นกรัม และวัดความยาวลำตัวด้วยไม้บรรทัด หน่วยเป็นเซนติเมตร ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหาร และอัตราการรอดตายของปลาในแต่ละชุดการทดลอง

2.4 การตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก ๆ 15 วันตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

1) ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ด้วยเครื่องวัดอัตโนมัติ รุ่น SOLOMAT 520c

2) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) วัดด้วยเครื่อง DO meter รุ่น AZ Instrument 86023

3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter รุ่น SOLOMAT 520c

4) วัดค่าปริมาณแอมโมเนียรวม (Ammonia-nitrogen; TAN) ดำเนินการตามวิธี Nessler โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น HACH DR/2000

3. การเก็บข้อมูลวิเคราะห์

นำข้อมูลที่บันทึกในการทดลอง เพื่อประเมินหาค่าต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักตัว ความยาวลำตัว อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตรารอดตาย ดังนี้

3.1 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Weight gain, WG; กรัม)

$$\text{WG (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)}}$$

3.2 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Gain, ADG; กรัมต่อวัน)

$$\text{ADG (กรัมต่อวัน)} = \frac{\text{(น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง– น้ำหนักเฉลี่ยปลาเริ่มต้น)}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง}}$$

3.3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR; เปอร์เซ็นต์/วัน)

$$\text{SGR} = \frac{\text{(In น้ำหนักปลาสั้นสุดการทดลอง) – (In น้ำหนักปลาเริ่มต้น)}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง}} \times 100$$

3.4 อัตรารอดตาย (survival rate, SR; เปอร์เซ็นต์)

$$SR = \frac{\text{จำนวนปลาสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

3.5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR)

$$FCR = \frac{\text{น้ำหนักอาหาร (แห้ง) ที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นเนื้อ}}$$

3.6 ประสิทธิภาพของอาหาร (feed efficiency ratio, FER)

$$FER = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักอาหาร (แห้ง) ที่ปลากิน}}$$

3.7 ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร (Protein efficiency ratio, PER)

$$PER = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักของโปรตีนที่ปลากิน}}$$

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบค่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตรารอดตาย ของปลายี่สกเทศในแต่ละชุดการทดลอง โดยวิธีการวิเคราะห์ความผันแปร (Analysis of Variance: Anova) และเมื่อพบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย จะวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของรายคู่ที่เป็นอิสระต่อกัน (T-Test) เมื่อการศึกษากำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพบความแตกต่างของกลุ่มทดลอง จะใช้วิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อหาคู่ความแตกต่างด้วยวิธีทางสถิติทั้งหมด โดยใช้ IBM SPSS Statistics 22

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลศึกษาการเจริญเติบโตของปลายี่สกเทศที่ได้รับอาหารผสมแหนแดงในระดับต่างกัน

จากการศึกษาผลของแหนแดงอบแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของปลายี่สกเทศ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง 90 วัน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารผสมแหนแดงอบแห้งในทุกระดับการทดแทนมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Weight Gain; WG) เมื่อปลาได้รับอาหารผสมแหนแดงเป็นเวลา 15 วัน พบว่า ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2) โดยปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุดในสูตรที่ใช้แหนแดงทดแทนกากถั่วเหลืองในกลุ่มควบคุม เท่ากับ 8.70±0.79 กรัม และต่ำสุดในกลุ่มใช้แหนแดงทดแทน 60% เท่ากับ 7.39±0.41 กรัม หลังจากนั้นเลี้ยงปลาเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ปลาได้รับอาหารผสมแหนแดงทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารมีน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) น้ำหนักอยู่ในช่วง 8.40±0.34-9.05±0.42 กรัม ในขณะที่ปลาได้รับอาหารผสมแหนแดงเป็นเวลา 45 วัน น้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยน้ำหนักปลาอยู่ระหว่าง 9.40±0.67-10.96±1.24 กรัม และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเลี้ยงปลาครบ 2 เดือน (60 วัน) น้ำหนักปลาเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 13.32±0.67 -15.84±1.27 กรัม (Table 2) เลี้ยงปลาต่อเป็นระยะเวลา 75 วัน พบว่าน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยน้ำหนักอยู่ในช่วง 16.17±1.20-18.97±3.41 กรัม (Table 2) และเมื่อเลี้ยงปลาครบ 90 วัน ปลาน้ำหนักเพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 19.54±2.69-21.95±1.78 กรัม (Table 2) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยแหนแดงอบแห้งในระดับ 40% มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น โดยเริ่มสังเกตได้ตั้งแต่ระยะการเลี้ยง 45 วัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่ยาวนานขึ้น (Table 2) อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างดังกล่าวยังไม่ชัดเจน จึงอาจกล่าวได้ว่าการใช้แหนแดงอบแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับที่ศึกษายังไม่ส่งผลต่อการเพิ่มน้ำหนักของปลายี่สกเทศ ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Tiwari et al. [28] ทดลองศึกษาการใช้แหนแดง (*Azolla*) ในอาหารของลูกปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) ที่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของปลายี่สกเทศในการเจริญเติบโตทั้งเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มความยาว และ แตกต่างจากการทดลองของ Kumari et al. [29] พบว่า การเสริมแหนแดง (*Azolla*) ในอาหารปลามีผลดีต่อการเจริญเติบโตของปลา โดยชุดการทดลองที่ได้รับแหนแดงมีค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนัก

อย่างไรก็ตามการทดลองในครั้งนี้ปลายังคงสามารถเจริญเติบโตได้ อาจเนื่องมาจากปลายี่สกเทศสามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารในแหนแดงได้ในระดับหนึ่ง และแหนแดงยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของปลาในช่วงการทดลองนี้

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้แหนแดงอบแห้งสามารถทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารปลายี่สกเทศได้ในระดับสูงถึง 40–60 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารสูตรซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า (Table 1) ทั้งนี้ แม้ว่าระดับโปรตีนในสูตรอาหารที่มีการทดแทนแหนแดงจะลดลง แต่ปลายังคงมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม สะท้อนให้เห็นว่าแหนแดงมีคุณค่าทางโภชนาการและสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในอาหารสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้แหนแดงยังอาจช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์น้ำและส่งเสริมการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีความยั่งยืนต่อระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย

Table 2 Average body weight (g) of *Labeo rohita* fed diets with different levels of *Azolla* as a replacement for soybean meal

Unit : (g)

Days	Level of Azolla supplementation in diet				p-value
	0%	20%	40%	60%	
15	8.70±0.79[a]	8.15±0.44[ab]	7.77±0.25[ab]	7.39±0.41[b]	0.069
30	9.05±0.42	8.40±0.34	8.99±0.46	8.84±0.01	0. 192
45	9.51±0.58	9.40±0.67	10.96±1.24	10.67±0.34	0. 091
60	14.19±2.08	13.32±0.67	15.84±1.27	15.32±0.39	0. 151
75	16.58±2.67	16.17±1.20	18.97±3.41	18.34±1.30	0. 442
90	20.91±3.76	19.54±2.69	21.37±2.74	21.95±1.78	0. 761

Noted: Values expressed in mean ± SD. Different superscript letters within a row are significantly different ($P < 0.05$).

จากการศึกษาความยาวเฉลี่ยของปลายี่สกเทศเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารผสมแหนแดงอบแห้ง ซึ่งใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองในทุกระดับการทดลอง มีการเจริญเติบโตด้านความยาวลำตัวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทุกชุดการทดลอง โดยเมื่อเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า ความยาวลำตัวของปลาในกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมมีความยาวลำตัวเฉลี่ยสูงสุด ในช่วง 7.9±1.78 - 9.9±8.47 เซนติเมตร หลังจากนั้นเมื่อเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน พบว่า ความยาวลำตัวของปลาในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (Table 3) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ แตกต่างจากการทดลองของ Tiwari et al. [28] ทดลองศึกษาการใช้แหนแดง (*Azolla*) ในอาหารของลูกปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) ที่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของปลายี่สกเทศในการเจริญเติบโตในด้านเปอร์เซ็นต์การเพิ่มความยาวลำตัวเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้แหนแดงอบแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับที่ศึกษานั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตด้านความยาวของปลายี่สกเทศ ทั้งนี้ ปลาทุกกลุ่มทดลองมีแนวโน้มความยาวลำตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเลี้ยงที่ยาวนานขึ้น สะท้อนให้เห็นว่าปลายังคงสามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารในอาหารทดลองเพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างเหมาะสม

Table 3 Average Length (cm) of *Labeo rohita* Fed Diets Containing *Azolla* as a Protein Source Replacing Soybean Meal at Different Levels

Unit : (cm)

Days	Level of Azolla supplementation in diet				p-value
	0%	20%	40%	60%	
15	9.6±2.25	9.9±8.47	8.25±1.36	7.9±1.78	0.069
30	9.5±2.10	9.3±2.49	9.8±1.65	9.3±1.49	0.192
45	10.6±2.34	10.3±2.78	11.4±1.99	10.8±1.76	0.091
60	13.6±2.54	12.8±2.84	15.1±2.43	13.8±1.93	0.151
75	16.6±2.82	15.3±2.93	18.7±3.00	16.8±2.19	0.442
90	19.6±3.17	17.7±3.05	20.6±3.32	19.8±2.51	0.761

เมื่อสิ้นสุดการทดลองการเลี้ยงปลายี่สกเทศที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่มีแหนแดงเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 0 20 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 0.23±0.06 0.20±0.02 0.28±0.07 และ 0.25±0.05 กรัมต่อวัน ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$ (Table 4) ขณะที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ของปลายี่สกเทศมีค่า เท่ากับ 1.82±0.25 1.70±0.13 2.01±0.27 และ 1.90±0.19 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ อนุรักษ์ และคณะ [18] รายงานการใช้แหนแดงเลี้ยงปลานิล ในสัปดาห์ที่ 2 โดยปลาที่มี SGR มากที่สุด คือ ปลาที่ได้รับอาหารควบคุม ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารผสมแหนแดง และจากการรายงานของ Fiogbe et.al. [19] พบว่า การผสมแหนแดงมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารปลาจะทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดลง เนื่องจากแหนแดงเพิ่มขึ้นจะมีผลต่ออัตราการย่อยอาหารของปลา ซึ่งการทดลองครั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า ปลามีประสิทธิภาพการใช้อาหารค่อนข้างต่ำ (Table 4) ส่งผลให้การนำสารอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงส่งผลต่อค่าการเจริญเติบโต ได้แก่ ค่า WG ADG และ SGR ที่ลดลงหรือมีค่าต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับคุณภาพของวัตถุดิบ ความน่ากินของอาหาร หรือความสามารถในการย่อยและดูดซึมสารอาหารของปลาในแต่ละสูตรอาหารทดลอง

นอกจากนี้ ปลายี่สกเทศที่ได้รับอาหารผสมแหนแดงในทุกระดับการทดแทนมีอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 41.00±3.06 , 46.67±2.51, 56.00±19.67 และ 47.33±4.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 4) อย่างไรก็ตาม พบว่า กลุ่มปลายี่สกเทศที่ได้รับอาหาร ซึ่งมีการใช้แหนแดงทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในระดับ 40% มีแนวโน้มให้อัตราการรอดตายสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ El-Sayed [30] ศึกษาผลของการใช้แหนแดง (*Azolla*) ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิลวัยอ่อนและปลานิลโตเต็มวัย พบว่า การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารผสมแหนแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลามีแนวโน้มลดลงตามระดับ การใช้แหนแดงที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ปลานิลวัยอ่อนสามารถใช้ประโยชน์จากแหนแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ยังพบอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและประสิทธิภาพของอาหารของปลายี่สกเทศเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลายี่สกเทศที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารซึ่งมีการใช้แหนแดงเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับ 0, 20, 40 และ 60% มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและประสิทธิภาพของอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 2.40±0.37, 2.61±0.25, 2.18±0.34 และ 2.29±0.25 ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพของอาหารเท่ากับ 0.42±0.06, 0.38±0.03, 0.46±0.07 และ 0.43±0.05 ตามลำดับ (Table 4)

สอดคล้องกับการรายงานของ Tiwari et al. [28] ศึกษาศักยภาพของแหนแดง (*Azolla*) ในการเป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของลูกปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ระหว่างชุดการทดลองทั้งหมดในช่วงระยะเวลา 0–45 วัน และในช่วงระยะเวลา 45–60 วัน พบว่า ค่า FCR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p>0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาที่เลี้ยงและกินอาหารของปลามีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ นอกจากนี้ พบว่า ปลายี่สกเทศที่ได้รับอาหารผสมแหนแดงในทุกระดับการทดแทนมีค่าประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารเท่ากับ 1.36±0.19, 1.31±0.13, 1.67±0.26 และ 1.66±0.19 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (Table 4) เป็นไปได้ว่าปลายี่สกมีความสามารถในการย่อยอาหารที่ผสมแหนแดงได้น้อย จึงส่งผลต่ออัตราการย่อยอาหารและอัตราการเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับ Ogino [31] พบว่า การเสริมแหนแดงในอาหารปลาปลาคาร์ฟและปลาเทราท์ในระดับที่สูงขึ้นจะทำให้ความสามารถในการย่อยอาหารและอัตราการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากในแหนแดงจะมีคาร์โบไฮเดรตจากพืชอยู่มาก ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแป้งและเซลลูโลส [32] เพราะในเซลลูโลสจะไม่ถูกย่อยโดยปลา

Table 4 Growth Rate of *Labeo rohita* Fed Diets Containing *Azolla* as a Protein Source Replacing Soybean Meal at Different Levels

Parameters	Level of Azolla supplementation in diet				p-value
	0%	20%	40%	60%	
Average Daily Gain (ADG)	0.23±0.06	0.20±0.02	0.28±0.07	0.25±0.05	0.43
Specific Growth Rate (%/Day)	1.82±0.25	1.70±0.13	2.01±0.27	1.90±0.19	0.36
Survival Rate (%)	41.00±3.06	46.67±2.51	56.00±19.67	47.33±4.10	0.40
Feed Conversion Ratio (FCR)	2.40±0.37	2.61±0.25	2.18±0.34	2.29±0.25	0.41
Feed Efficiency Ratio (FER)	0.42±0.06	0.38±0.03	0.46±0.07	0.43±0.05	0.44
Protein Efficiency Ratio (PER)	1.36±0.19	1.31±0.13	1.67±0.26	1.66±0.19	0.11

จากการเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงปลายี่สกเทศเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า การใช้แหนแดงอบแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้อย่างต่อเนื่องตามระดับการทดแทนที่เพิ่มขึ้น (Table 5) โดยสูตรอาหารควบคุมที่ไม่มีการใช้แหนแดงมีต้นทุนค่าอาหารสูงสุด เท่ากับ 124.78 บาท/กิโลกรัม ขณะที่สูตรอาหารที่ใช้แหนแดงทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับร้อยละ 20, 40 และ 60 มีต้นทุนค่าอาหารลดลงเหลือ 119.38, 114.08 และ 108.79 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้แหนแดงอบแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารปลาได้ โดยเฉพาะในระดับการทดแทนที่สูงขึ้น ทั้งนี้ แม้ว่าต้นทุนค่าอาหารจะลดลง แต่ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของปลายังคงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงสะท้อนให้เห็นว่าแหนแดงมีศักยภาพในการเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำทางเลือกที่ช่วยลดต้นทุนและส่งเสริมความยั่งยืนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าผลการทดลองจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่สูตรที่ทดแทนแหนแดงในระดับ 40% แสดงแนวโน้มที่ดีที่สุดทั้งด้านประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

Table 5 Comparison of Feed Cost for *Labeo rohita* Fed Diets Containing Different Levels of *Azolla* Meal as a Soybean Meal Substitute for 90 Days in Cage Culture

Parameters	Sample fish	Amount of food (kilograms)	Price per kilogram (Baht)	Total (Baht)
Diet containing 0% *Azolla* meal	100	5.03	24.79	124.78
Diet containing 20% *Azolla* meal replacing soybean meal	100	5.03	23.73	119.38
Diet containing 40% *Azolla* meal replacing soybean meal	100	5.03	22.68	114.08
Diet containing 60% *Azolla* meal replacing soybean meal	100	5.03	21.63	108.79

จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาน้ำจืดและสามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของปลาได้เป็นอย่างดี โดยค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 3.3–4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Figure 2) ซึ่งแม้จะอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าที่เหมาะสมทั่วไป แต่ยังคงสูงกว่าค่าขั้นต่ำที่ปลาน้ำจืดสามารถดำรงชีวิตได้ (ไม่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร) จึงไม่ก่อให้เกิดภาวะเครียดหรือผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลาอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปลามีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมในระบบการเลี้ยงได้ดี [33,34]

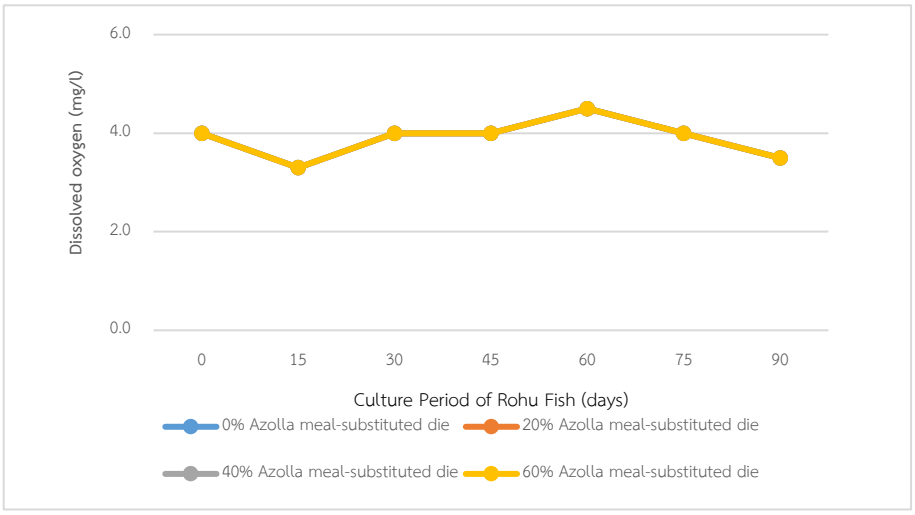


Figure 2 Dissolved oxygen levels in the culture ponds of *Labeo rohita* during different rearing periods

อุณหภูมิของน้ำในระหว่างการทดลองอยู่ในช่วง 26.0–30.5 °C (Figure 3) ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาน้ำจืดเขตร้อน โดยเฉพาะปลากลุ่มคาร์พที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิประมาณ 25–32 °C อุณหภูมิในช่วงดังกล่าวยังส่งผลให้กระบวนการย่อยอาหารและการเผาผลาญพลังงานของปลาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [34]

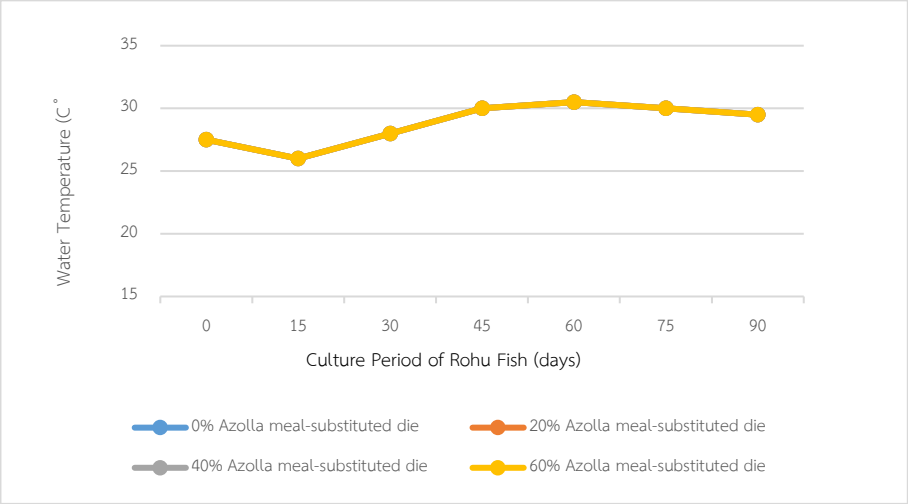


Figure 3 Water temperature in the culture ponds of *Labeo rohita* during different rearing periods

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.8–7.7 (Figure 4) ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วง pH 6.5–8.5 ที่เอื้อต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของปลา และช่วยลดความเป็นพิษของแอมโมเนียในรูปที่เป็นอันตราย (NH_3) ส่งผลให้ปลาสามารถดำรงชีวิตและเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [35,36]

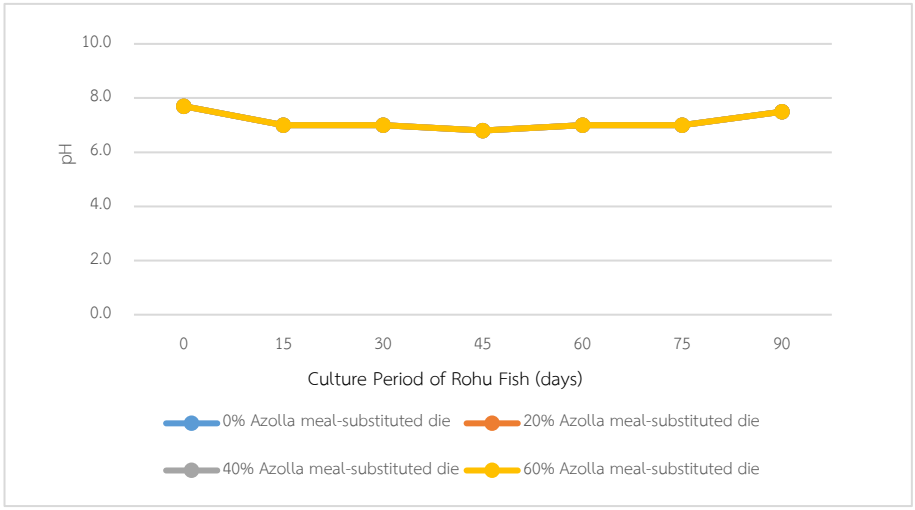


Figure 4 pH in the culture ponds of *Labeo rohita* during different rearing periods

สำหรับค่าปริมาณแอมโมเนียรวม (Total Ammonia Nitrogen; TAN) อยู่ในช่วง 0.05–0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร (Figure 5) ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและไม่เกินค่าที่แนะนำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการควบคุมค่า TAN ให้อยู่ในระดับต่ำมีความสำคัญต่อการลดความเสี่ยงจากการสะสมของแอมโมเนียที่อาจส่งผลกระทบต่อเหงือก ระบบหายใจ และการเจริญเติบโตของปลา [33,37] ค่าที่ตรวจวัดได้ในงานวิจัยนี้จึงสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบการจัดการน้ำที่สามารถควบคุมของเสียได้อย่างเหมาะสม

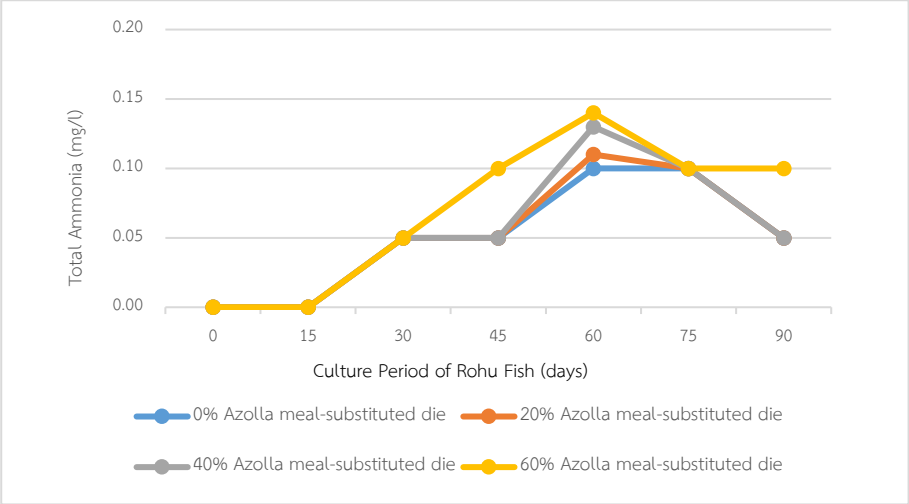


Figure 5 Total Ammonia in the culture ponds of *Labeo rohita* during different rearing periods

โดยสรุป คุณภาพน้ำในระบบการทดลองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพตลอดระยะเวลาการทดลอง จึงไม่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหารของปลา ทั้งนี้ ความเหมาะสมของคุณภาพน้ำยังช่วยสนับสนุนให้สามารถประเมินผลของแหนแดงในฐานะแหล่งโปรตีนทดแทนได้อย่างชัดเจน โดยลดอิทธิพลแทรกซ้อนจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการเลี้ยงจริงได้

สรุปผล

การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า การใช้แหนแดงอบแห้งทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับ 40% เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับใช้ในอาหารปลายี่สกเทศ เนื่องจากสามารถลดต้นทุนค่าอาหารได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหารของปลา อีกทั้งยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำทางเลือกที่ยั่งยืนใน เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารในกลุ่มควบคุม สะท้อนให้เห็นว่าปลายี่สกเทศสามารถใช้ประโยชน์จากแหนแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ในระดับการทดแทนที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ การใช้แหนแดงยังช่วยลดการพึ่งพาวัตถุดิบโปรตีนเชิงพาณิชย์ เช่น กากถั่วเหลือง ซึ่งมีต้นทุนสูงและมีความผันผวนด้านราคา ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิตอาหารปลาได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเพาะเลี้ยงแหนแดงเพื่อใช้ภายในฟาร์ม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความคุ้มค่าในการผลิตและลดต้นทุนด้านวัตถุดิบจากภายนอก ในด้านการประยุกต์ใช้ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำแหนแดงไปใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารปลายี่สกเทศในระดับเชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังมีส่วนสนับสนุนการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในท้องถิ่น ใช้ทรัพยากรต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต่อยอดในด้านระดับการใช้ที่เหมาะสมในระยะยาว คุณภาพเนื้อปลา ตลอดจนผลกระทบต่อสุขภาพปลาและระบบภูมิคุ้มกัน เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของข้อมูลและรองรับการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ หลักสูตรเทคโนโลยีการประมง สาขาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ในการสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการวิเคราะห์ผลงานในการทำวิทยานิพนธ์ และขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดมุกดาหาร กรมประมง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลอง ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สุจิต ภิญโญยิ่ง. 2519. แนะนำปลายี่สกเทศ. รายงานการประชุมทางวิชาการเกษตรศาสตร์และชีววิทยาแห่งชาติ ครั้งที่ 15 สาขาสัตว์. 1-5. https://agkb.lib.ku.ac.th/KUCON/Detail/1579
2. กลุ่มสถิติการประมง กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง กรมประมง. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2564 (Fisheries Statistics of Thailand 2021). 2565. เอกสารเผยแพร่ ฉบับที่ 14/2565. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20221129154933_1_file.pdf
3. Liu, X. Olden, J. D., Wu, R., Ouyang, S., Wu, X. 2022. Dam Construction Impacts Fish in a Subtropical River Network. China Diversity. 14(6): 476. https://doi.org/10.3390/d14060476
4. 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. https://www.fisheriesjournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartC/6-1-35-823.pdf
5. Shepherd, C. J., Jackson, A. J. 2013. Global fishmeal and fish-oil supply: inputs, outputs and marketsa. Journal of Fish Biology, 83(4), 1046-1066. https://doi.org/10.1111/jfb.12224
6. Oliva-Teles, A., Enes, P., Peres, H. 2015. 8-Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. In Feed and feeding practices in aquaculture. (pp. 203-233). Portugal: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100506-4.00008-8
7. Bocchi, S., A. Malgioglio. 2010. Azolla-anabaena as a Biofertilizer for Rice Paddy Fields in the Po Valley, a Temperate Rice Area in Northern Italy. International Journal of Agronomy. 1: 1-5. https://doi.org/10.1155/2010/152158
8. Watanabe, I., C. Ramirez. 1990. Phosphorus and nitrogen contents of Azolla grown in the Philippines. Soil Science and Plant Nutrition. 36(2): 319-331. https://doi.org/10.1080/00380768.1990.10414998
9. Chen, XY., Zhou, J., Luo, L. P., Han, B., Li, F., Chen, J. Y., Zhu, Y. F., Chen, W., Yu, X. P. 2015. Black rice anthocyanins suppress metastasis of breast cancer cells by targeting RAS/RAF/MAPK pathway. BioMed Research International, 2015, 1-11. https://doi.org/10.1155/2015/414250
10. Sadeghi, R, R Zariami, K Sabetraftar, and P.V. Damme. 2013. A review of some ecological factors affecting growth of *Azolla spp*. Caspian Journal of Environmental Sciences. 11(1): 65-76. https://cjes.guilan.ac.ir/article_1207_279.html

11. Yadav, R. K., Abraham, G., Singh, Y. V., & Singh, P. K. 2014. Advancements in the utilization of Azolla-anabaena system in relation to sustainable agricultural practices. In Proc. Indian Natl. Sci. Acad Vol.80, No. 2, pp.301-316. https://doi.org/10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55108
12. ประยูร สวัสดี, บรรหาร แตงฉ่ำ. 2545. แหนแดง ชีววิทยาและการใช้ประโยชน์. เอกสารวิชาการ ปุ๋ยชีวภาพ. 163-212. https://kukr.lib.ku.ac.th/KUCON/Detail/1812
13. Cary. P.R., and P.G.J. Weerts. 1992. Growth and nutrient composition of *A. pinnota R. Brown and A. filiculoides* Lamarck as affected by water temperature, nitrogen and phosphorus supply, light intensity and pH. Aquatic Botany. 43: 163-180. https://doi.org/10.1016/0304-3770(92)90041-G
14. ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, ประไพ ทองระอา. 2557. การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของแหนแดงที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ กรมวิชาการเกษตร.
15. Lumpkin, T. A., Plucknett, D. L. 1980. Azolla: Botany, physiology, and use as a green manure. *Economic Botany*, 34(2), 111-153. https://link.springer.com/article/10.1007/BF02858627
16. Alalade, O. A., Iyayi, E. A. 2006. Chemical composition and feeding value of Azolla (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. *International Journal of Poultry Science*, 5(2), 137-141. https://doi.org/10.3923/ijps.2006.137.141
17. Becker, E. W. 2007. Microalgae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207-210. 10.1016/j.biotechadv.2006.11.002
18. อนุรักษ์ เขียวขจรเขต, อมรรัตน์ วันอังคาร, กุลยาภัสร์ วุฒิจารี, ณัฐมนตรี คงกระพันธ์, ณัฐพงศ์ วงศ์ใหญ่. 2555. การใช้ประโยชน์จากแหนแดงอบแห้งในอาหารปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus Linn.*). วารสารแก่นเกษตร, 40 (ฉบับพิเศษ 2), 518–521. https://cads.arda.or.th/th/documents/research/99ac0831-084e-4263-a633-bd7e186cf7f9
19. Fiogbé, E. D., Micha, J. C., Van Hove, C. 2004. Use of a natural aquatic fern, *Azolla microphylla*, as a main component in food for the omnivorous-phytoplanktonophagous tilapia, Oreochromis niloticus L. Journal of Applied Ichthyology. 20(6): 517–520. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2004.00562.x
20. Refaey, M. M., A. I., Mehrim, O, A., Zenhom, H, A., Areda, J, A., Ragaza, M, S., Hassaan. 2023. Fresh Azolla, *Azolla pinnata* as a Complementary Feed for *Oreochromis niloticus*: Growth, Digestive Enzymes, Intestinal Morphology, Physiological Responses, and Flesh Quality. Aquaculture Nutrition, 28, 1-13. https://doi.org/10.1155/2023/1403704
21. Yılmaz, E., Akyurt, İ., & Günal, G. (2004). Use of duckweed, Lemna minor, as a protein feedstuff in practical diets for common carp, Cyprinus carpio, fry. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 4(2), 105-109. https://www.trjfas.org/uploads/pdf_238.pdf
22. Leterme, P., Londoño, A. M., Ordoñez, D. C., Rosales, A., Estrada, F., Bindelle, J., Buldgen, A. 2010. Nutritional value and intake of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell.) in sows. Animal Feed Science and Technology. 155: 55-64. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.10.002
23. Hasan, M. R., Chakrabarti, R. 2009. Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 531). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/3/i1141e/i1141e.pdf

24. Abou, Y., Fiogbé, E. D., & Micha, J. C. 2007. Effects of stocking density on growth, yield, and profitability of farming Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., fed *Azolla-diet*, in earthen ponds. Aquaculture Research, 38(6), 595-604. doi.org https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01700.x
25. Ahouansou Montcho, S. 2011. Diversity and Exploitation of Fish from the Pendjari River (Benin, West Africa). Doctor's Thesis: University of Abomey-Calavi, 234 p. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2072932
26. นเรศ นาเมืองรักษ์, ชลธิชา พิชคำ, อนุพงษ์ สนิทชน, นัยน์ปพร ศาลาแก้ว. 2563. ศึกษาการเลี้ยงปลายี่สกเทศในกระชัง ให้ได้ขนาด 100 กรัม ด้วยความหนาแน่นสูง. เอกสารวิชาการฉบับที่ -/2563 กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200916105903_1_file.pdf
27. AOAC INTERNATIONAL. 2019. Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st ed. AOAC International, Rockville, MD, USA. Available from: AOAC Official Methods of Analysis.
28. Tiwari, P. K., Vyas, V., Dubey, S., Singh, S. M., Pandey, S., Banchhod, S., Kshatri, A. S., Singh, P. 2024. The potential effects of *Azolla* as a growth promoter for *Labeo rohita* fingerlings. *Asian* Journal of Current Research. 9(2): 173-178. https://doi.org/10.56557/AJOCR/2024/v9i28678
29. Kumari, R., Ojha, M.L., Saini V.P., Sharma, S.K. 2017. Effect of Azolla supplementation on growth of rohu (*Labeo rohita*) fingerlings. Journal of Entomology and Zoology Studies, 5(4): 1116-1119. https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue4/PartO/5-4-54-783.pdf
30. EL-SAYED, A.F.M. 1992. Effects of substituting fish meal with Azolla pinnata in practical diets for fingerling and adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture Research, 23: 167-173. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1992.tb00607.x
31. Ogino, C. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 46(2): 171-174. https://doi.org/10.2331/suisan.46.171
32. De Silva SS, Anderson TA. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman & Hall Aquaculture, London. UK. 319 p. https://catalogue.nla.gov.au/catalog/555173
33. Boyd, C. E. 1998. *Water quality for pond aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3011416
34. Boyd, C. E. 2015. *Water quality: An introduction* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4
35. Boyd, C. E., Tucker, C. S. 1998. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer, New York, USA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3
36. Lawson, T. B. 1995. Fundamentals of aquacultural engineering. Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0479-1
37. Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. 2010. *Recirculating Aquaculture*. 2nd ed. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, New York, USA. https://www.amazon.com/Recirculating-Aquaculture-M-B-Timmons-Ebeling/dp/0971264627