

การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนใน
อาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวของปลากาดำ

Growth Performance, Carbohydrate and Protein Digestibility of *Labeo chrysophekadion* Fed with Okra Supplemented Feed

จุลทรรศน์ คีรีแลง¹ เกริญศักดิ์ เม่งอำพัน¹ ชนกกันต์ จิตมนัส¹ Hien Van Doan² และสุดาพร ตงศิริ^{1*}
Julatat Keereelang¹ Kriangsak Mangumphan¹ Chanagun Chitmanat¹
Hien Van Doan² and Sudaporn Tongsi^{1*}

Received: April 10, 2020; Revised: September 12, 2020; Accepted: September 16, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในวัตถุดิบ
และอาหารปลากาดำ และระดับที่เหมาะสมในการเสริมกระเจี๊ยบเขียวในอาหารปลากาดำ โดยทำการศึกษา
ในปลากาดำน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 3.11 ± 0.61 กรัม/ตัว และความยาวเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ
 7.05 ± 0.60 เซนติเมตร/ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 4 กลุ่ม
กลุ่มทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 0 2 4 และ 6 % ตามลำดับ
โดยมีระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับ 36.70 % ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ จากการทดลอง
พบว่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในแป้งสาลี และกระเจี๊ยบเขียว มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ
62.48 และ 48.67 $\mu\text{mol maltose/g feed/amylase activity}$ ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน
มีค่าสูงในปลาป่น โดยมีค่าเท่ากับ 50.74 ± 2.47 $\mu\text{mol DL-alanine equivalent/g feed/trypsin}$
 activity ($P < 0.05$) สำหรับประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารมีค่าสูงในอาหารเสริม
กระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 0 % ($P < 0.05$) และประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าสูงในอาหารเสริม
กระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 2 - 6 % อัตราการเจริญเติบโตของปลากาดำที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียว

¹ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

² คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai

² Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

* Corresponding Author E - mail Address: sudap2515@gmail.com

ที่ระดับ 2 % มีค่าสูงที่สุดทั้งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตจำเพาะ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ($P < 0.05$) สำหรับอัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่ต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ($P > 0.05$)

คำสำคัญ : ปลากาดำ; กระเจี๊ยบเขียว; ประสิทธิภาพการย่อยได้; การเจริญเติบโต

Abstract

The aim of this study were to investigate on *in vitro* carbohydrate and protein digestibility in feedstuffs and feed of Black shark minnow and detect the optimal level of okra supplementation. Black shark minnow with an initial weight and length were 3.11 ± 0.61 g/fish and 7.05 ± 0.60 cm./fish respectively. The completely randomize design was arrange to 4 treatments with 3 replications. Fish fed okra supplement at 0, 2, 4 and 6 % with isonitrogenous diet at 36.70 % protein for 16 week. The results showed that wheat flour and okra have the highest carbohydrate digestibility as 62.48 and 48.67 μmol maltose/g feed/amylase activity ($P < 0.05$). Protein digestibility was the highest in fish meal as 50.74 ± 2.47 μmol DL-alanine equivalent/g feed/trypsin activity ($P < 0.05$). Carbohydrate digestibility was significantly in feed supplemented with okra at 0 % compared with other groups ($P < 0.05$). In addition, protein digestibility was significant highest in dietary supplemented with okra at 2 - 6 % compared with control group ($P < 0.05$). Growth performance and protein efficiency ratio of fish fed with supplemented okra at 2 % has higher than other groups ($P < 0.05$). On the other hand, survival rate and feed conversion ratio were not significant different among groups ($P > 0.05$).

Keywords: Greater Black Shark; Okra; Digestibility; Growth Performance

บทนำ

ปลากาดำ (*Labeo chrysophekadion*) เป็นปลาพื้นเมืองของไทยตัวโตมีขนาด 5 - 8 กิโลกรัม พบทั้งในแหล่งน้ำนิ่ง และน้ำไหลทั่วประเทศ [1] มีพฤติกรรมว่ายทะเล็มตามหิน และชอบกัดเกล็ดของปลาอื่น กินตะไคร่น้ำ และซากพืชซากสัตว์เป็นอาหาร [2] เป็นปลาที่มีรสชาติดีนิยมบริโภคสดและเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม ในภาคเหนือประชาชนนิยมนำมาประกอบอาหาร ราคาขายกิโลกรัมละ 80 - 180 บาท ขึ้นอยู่กับขนาด ปัจจุบันปลากาดำมีการเพาะเลี้ยงเพื่อจำหน่ายเป็นปลาสวยงามทั้งในและต่างประเทศ ปลาที่ผลิตได้จะส่งออก ในลักษณะปลาสวยงามเป็นส่วนใหญ่ โดยจะเป็นปลาที่มีขนาดเล็ก ส่วนปลาขนาดใหญ่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ส่วนใหญ่เป็นปลาที่จับจากธรรมชาติ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการบริโภคได้มีการทดลองเลี้ยงปลากาดำในบ่อดิน โดยปล่อยที่ความหนาแน่น 2 ตัวต่อตารางเมตร โดยเลี้ยงเป็นระยะเวลา 9 เดือน ได้ปลาขนาดตัวละ

200 กรัม ได้ผลผลิต 290 กิโลกรัมต่อไร่ [3] ซึ่งผลผลิตที่ได้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากปลามีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า ระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงนาน จึงทำให้ต้นทุนในการเลี้ยงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยง สำหรับการเจริญเติบโตของปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น อาหาร คุณภาพน้ำ พันธุกรรมของปลา และสุขภาพของปลา ซึ่งอาหารและสุขภาพของปลาถือเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลา อาหารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสุขภาพของปลาที่จะส่งผลให้ปลาโตเร็ว [4] การใช้สมุนไพร หรืออาหารเสริมช่วยให้ปลาสุขภาพดีขึ้น ส่งผลต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย รวมถึงระบบย่อยอาหารให้ทำงานดีขึ้น ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชที่มีสรรพคุณทางยาช่วยต้านอนุมูลอิสระ และช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณพิษที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ไม่มีประโยชน์ที่อาศัยอยู่บริเวณลำไส้ [5] กระเจี๊ยบเขียวจัดเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากมีเส้นใย วิตามินซี และโฟเลตสูง นอกจากนี้ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง และเป็นแหล่งของแคลเซียม และโพแทสเซียม [6] โดยในกระเจี๊ยบเขียวมีสารประกอบพวกโพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบย่อยอาหาร และระบบภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ในกระเจี๊ยบเขียวมีเบต้ากลูแคนซึ่งด้านการทำงานของเซลล์มาโครฟาจ และเม็ดเลือดขาวชนิดเนเชอร์ล คิลเลอร์เซลล์ (Natural Killer Cells) [7] - [8] และมีความสำคัญต่อการควบคุมสารอนุมูลอิสระในร่างกาย การสร้างสารซ่อมแซมเซลล์ ทำปฏิกิริยาขจัดสารพิษที่เกิดในร่างกาย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะส่งผลต่อการเสริมสุขภาพของปลาให้แข็งแรงขึ้น สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้อย่างเต็มที่ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงระดับที่เหมาะสมของการใช้กระเจี๊ยบเขียวในอาหาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย และการใช้อาหาร และการเจริญเติบโตของปลากาดำ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงให้น้อยลง และได้อาหารที่มีต้นทุนต่ำในการเลี้ยงปลากาดำเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์และประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุดิบและอาหาร การเตรียมตัวอย่างกระเพาะอาหารและลำไส้ปลา

นำตัวอย่างปลากาดำมาทำการสลบด้วยน้ำมันกานพลู (Clove Oil) จากนั้นทำการผ่าท้องปลาเพื่อเก็บตัวอย่างกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก นำตัวอย่างกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กมาทำการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (Homogenizer) ขณะที่บดจะแช่ในอ่างน้ำแข็งแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 g นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์กิจกรรม และสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส และโปรติเอสตามวิธีของ [9]

2. การศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบ และอาหารทดลองด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารที่สกัดจากทางเดินอาหารปลากาดำ

2.1 การหาค่า *in vitro* digestibility ในวัตถุดิบอาหาร

ทำการศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น แป้งสาลี กากถั่วเหลือง กลูเตน และกระเจี๊ยบเขียว ตามวิธีของ [10] โดยนำวัตถุดิบอาหารไปบดด้วย Homogenizer แล้วนำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาชั่งน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นเติม 50 mM Phosphate buffer pH 7 ปริมาตร 20 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex

Mixer เติม 0.5 % Chloramphenical 100 μ l แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Shaker Incubator) ที่ความเร็วรอบ 200 rpm อุณหภูมิ 30 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งตัวอย่างเก็บไว้ 250 μ l เพื่อเป็นกลุ่มควบคุมจากนั้นนำส่วนที่เหลือมาเติมสารสกัดเอนไซม์จากปลากาดำปริมาตร 250 μ l ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Shaker Incubator) ที่ความเร็วรอบ 200 rpm อุณหภูมิ 30 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่าง 1,000 μ l และตัวอย่างที่แบ่งไว้สำหรับเป็นกลุ่มควบคุม นำไปต้มในน้ำเดือดทันทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่แข็งทันทีที่อุณหภูมิ -80 $^{\circ}$ C (Digested Solution) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาการย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตต่อไป

2.2 การศึกษาการย่อยโปรตีนในอาหาร

การศึกษาการย่อยโปรตีนในอาหารตามวิธีของ [10] โดยนำ Digested Solution ที่ละลายแล้วไปปั่นให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer นำ Digested Solution 200 μ l มาเติม 50 mM Phosphate buffer pH 8.2 ปริมาตร 2 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) เติม 0.1 % TNBS (ใน 50 mM Phosphate buffer pH 8.2) ปริมาตร 1 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) จากนั้นนำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการเติม 1 M HCl ปริมาตร 1 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้ววัดค่าการดูดแสงที่ 420 nm โดยหาค่าปริมาณ Free Amino Group โดยเปรียบเทียบกับ DL-Alanine Standard Curve

2.3 การศึกษาการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

การศึกษาการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารตามวิธีของ [10] โดยนำ Digested Solution ที่ละลายแล้วไปปั่นให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer ที่ความเร็วรอบ 10,000 g เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นดูดตัวอย่างมา 250 μ l นำมาเติม 1 % DNS (ละลาย 2 M NaOH และ 0.6 % Sodium Potassium Tartrate) ปริมาตร 250 μ l แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 2.5 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer วัดค่าการดูดแสงที่ 540 nm หาค่าปริมาณ Reducing Sugar โดยเปรียบเทียบกับ Maltose Standard Curve

3. การศึกษาการเจริญเติบโตของปลากาดำ

3.1 การเตรียมปลาทดลอง

ปลากาดำที่ใช้ในการศึกษาเป็นลูกปลาที่ได้จากการเพาะพันธุ์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด จังหวัดแพร่ มีอายุประมาณ 2 เดือน นำมาเลี้ยงไว้ที่สาขาวิชาประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1 ตัน เพื่อปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับการทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และให้อาหารเม็ดสูตรควบคุม วันละ 2 มื้อ คือ มื้อเช้าเวลา 09.00 น. และมื้อเย็นคือ 16.00 น. ในระหว่างการเลี้ยงทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และดูดตะกอนทุก ๆ 2 วัน จนได้ลูกปลาน้ำหนักเฉลี่ย 3 กรัม

3.2 การเตรียมกระเจียบเขียว

นำผลกระเจียบเขียวมาทำการล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นตัดเอาส่วนหัวทิ้งไปโดยเอาเฉพาะส่วนที่เป็นผลกระเจียบเขียวมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำกระเจียบเขียวที่แห้งแล้วมาทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น และนำไปใส่ไว้ในถุงซิปล็อค โดยปิดให้สนิทแล้วนำไปเก็บไว้

ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยกระเจี๊ยบเขียวมีค่าองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน 2 % ความชื้น 90.19 % เยื่อใย 3.2 % ไขมัน 3.9 % และพลังงาน 33 kcal/100 กรัม

3.3 การเตรียมอาหารทดลอง

สูตรอาหารที่ใช้ได้ปรับปรุงมาจากสูตรของ [11] ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ใช้ศึกษาในปลาไน มาใช้เป็นสูตรอาหารชุดควบคุม (Control) โดยนำส่วนผสมทั้งหมดมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปอัดเป็นเม็ดโดยใช้เครื่องอัดอาหารเม็ดลอย จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ทดลองต่อไปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

Feed Stuff	Percentage of Okra (%)			
	0	2	4	6
Fishmeal	40.00	40.00	40.00	40.00
Wheat Flour	21.00	19.00	17.00	15.00
Soybean Meal	13.50	13.50	13.50	13.50
Wheat Gluten	5.50	5.50	5.50	5.50
Soybean Oil	6.00	6.00	6.00	6.00
Fish Oil	6.00	6.00	6.00	6.00
Minerals	3.00	3.00	3.00	3.00
Vitamins	2.00	2.00	2.00	2.00
Alpha - Starch	2.00	2.00	2.00	2.00
BHT	0.50	0.50	0.50	0.50
Antioxidant	0.50	0.50	0.50	0.50
Okra	0.00	2.00	4.00	6.00
Proximate Analysis (% dry weight)				
Moisture	7.78	8.24	8.41	8.99
Protein	36.70	35.71	35.59	34.46
Fat	11.13	2.33	2.85	2.21
Ash	3.48	6.49	6.02	5.59

หมายเหตุ: อาหารสูตรควบคุมปรับปรุงจาก [11]

4. วิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) อาหารที่ไม่มีกระเจี๊ยบเขียวเป็นส่วนผสม และชุดการทดลองที่ 2 - 4 อาหารที่มีกระเจี๊ยบเขียวเป็นส่วนผสม 2.4 และ 6 % ตามลำดับ ทดสอบอาหารโดยใช้ลูกปลาคาดำน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3 กรัม เลี้ยงในตู้กระจกขนาด 36 x 16 x 18 นิ้ว จำนวน 12 ตู้ ใส่ปลาตู้ละ 30 ตัว ในระหว่างการเลี้ยงให้อาหาร 2 มื้อ

(09.00 น. และ 16.00 น.) ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 % ทุกวัน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บข้อมูล ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารและอัตราการเจริญเติบโตของปลาในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีการของ Duncan's Multiple Rang Test โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง กลูเตน แป้งสาลี และกระเจียบเขียว ด้วยเอนไซม์ที่สกัดจากทางเดินอาหารปลากาต้าพบว่า ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในแป้งสาลี และกระเจียบเขียวมีค่าสูงที่สุด ($P < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 43.96 – 48.86 $\mu\text{mol maltose/g feed/amylase activity}$ แต่เอนไซม์ในทางเดินอาหารปลากาต้ามีความสามารถในการย่อยโปรตีนในปลาป่นได้สูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ $50.74 \pm 2.47 \mu\text{mol DL-alanine equivalent/g feed/trypsin activity}$ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในวัตถุดิบอาหารด้วยเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารของปลากาต้า ใส่ “Nd”

Feedstuff	Apparent Digestibility	
	Carbohydrate ($\mu\text{mol maltose/g feed/ amylase activity}$)	Protein ($\mu\text{mol DL-alanine equivalent/ g feed/trypsin activity}$)
Fishmeal	15.05 ± 2.86^c	50.74 ± 2.47^a
Wheat flour	43.96 ± 2.96^a	38.77 ± 2.28^b
Soybean meal	22.47 ± 1.61^b	40.10 ± 0.38^b
Wheat gluten	44.56 ± 0.47^b	Nd
Okra	48.86 ± 1.30^a	36.66 ± 1.07^b
P - value	0.0001	0.0001

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรต่างกันตามแนวดิ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, Nd = ตรวจวัดไม่พบ (not detected)”

จากการศึกษาค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารทดลองที่มีการเสริมกระเจียบเขียวที่ระดับต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 3) พบว่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารกลุ่มควบคุมมีค่าดีที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ $6.33 \mu\text{mol maltose/g feed/amylase activity}$ แต่ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ $19.84 \mu\text{mol DL-alanine equivalent/g feed/trypsin activity}$

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในอาหารทดลองด้วยเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารของปลากาดำ

Treatment	Apparent Digestibility	
	Carbohydrate (μmol maltose/ g feed/amylase activity)	Protein (μmol DL-alanine equivalent/g feed/trypsin activity)
control	6.33 $\pm$ 0.66 ^a	19.84 $\pm$ 0.32 ^b
Okra 2 %	2.11 $\pm$ 0.58 ^b	27.36 $\pm$ 1.77 ^a
Okra 4 %	2.66 $\pm$ 0.23 ^b	30.27 $\pm$ 0.40 ^a
Okra 6 %	3.50 $\pm$ 1.41 ^b	26.51 $\pm$ 0.88 ^a
P - value	0.0025	0.0022

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรต่างกันตามแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากาดำที่ได้รับอาหารเสริมกระเจียนเขียวที่ระดับ 0 2 4 และ 6 % ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่ามีค่าการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มทดลอง ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากาดำที่ได้รับอาหารเสริมกระเจียนเขียวที่ระดับต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์

Parameter	Level of Okra Supplemented in Diet (%)				P-Value
	0	2	4	6	
Final weight (g/fish)	6.48 $\pm$ 0.09 ^b	7.50 $\pm$ 0.21 ^a	6.21 $\pm$ 0.22 ^b	6.28 $\pm$ 0.09 ^b	0.0014
Final length (cm/fish)	6.70 $\pm$ 0.14 ^c	8.33 $\pm$ 0.15 ^a	7.50 $\pm$ 0.28 ^b	7.25 $\pm$ 0.35 ^{bc}	0.0028
Weight gain (g/fish)	3.37 $\pm$ 0.09 ^b	4.39 $\pm$ 0.21 ^a	3.31 $\pm$ 0.40 ^b	3.34 $\pm$ 0.30 ^b	0.0081
Length gain (cm/fish)	0.36 $\pm$ 0.14 ^c	1.99 $\pm$ 0.15 ^a	1.16 $\pm$ 0.28 ^b	0.91 $\pm$ 0.35 ^{bc}	0.0028
Specific growth rate (%/day)	0.61 $\pm$ 0.01 ^b	0.73 $\pm$ 0.02 ^a	0.63 $\pm$ 0.04 ^b	0.58 $\pm$ 0.0 ^b	0.0049
Survival rate (%)	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	.
Feed conversion ratio	4.38 $\pm$ 0.08 ^a	4.06 $\pm$ 0.28 ^a	4.17 $\pm$ 0.12 ^a	4.01 $\pm$ 0.19 ^a	0.2999
Protein efficiency ratio	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.01 $\pm$ 0.00 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.0103

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเจริญเติบโตของปลากาดำทั้งน้ำหนัก และความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลากาดำกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกระเจียนเขียวที่ระดับ 2 % มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.39 $\pm$ 0.21 กรัม/ตัว และ

1.99±0.15 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ รวมถึงการเจริญเติบโตจำเพาะที่มีค่าเท่ากับ 0.73±0.02 %/วัน สำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหารโดยพิจารณาจากค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนพบว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในแต่ละกลุ่มทดลองมีค่าไม่ต่างกันทางสถิติในแต่ละกลุ่มทดลอง ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.01 - 4.38 แต่ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากาต้าที่ได้รับอาหารเสริมกระเจียบเขียวที่ระดับ 2 % มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.01±0.00

สรุปและการอภิปรายผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารพบว่าเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารของปลากาต้าสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในแป้งสาลี และกระเจียบเขียวได้ดีกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากปลากาต้าเป็นปลาที่กินทั้งพืชทั้งสัตว์ (Omnivorous) [1] - [2], [12] ซึ่งมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลากินเนื้อ (Carnivorous) [13] ซึ่งจากวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานั้น แป้งสาลี และกระเจียบเขียว ซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตจะมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น จึงส่งผลต่อความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ส่วนประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนพบว่ามีค่าสูงในปลาป่น เนื่องจากปลากาต้าเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจะมีค่าน้อยกว่าปลากินเนื้อ (Carnivorous) แต่จะมีค่าสูงกว่าในปลากินพืช (Herbivorous) [14] ซึ่งคล้ายกับปลานิลที่เป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงส่งผลให้ปลากาต้าย่อยโปรตีนจากปลาป่นได้ดีกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่น เนื่องจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพทั้งปริมาณโปรตีนที่สูง และโปรตีนในปลาป่นเป็นโปรตีนที่ย่อยง่ายกว่าโปรตีนที่พบในพืช [15] ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าการย่อยโปรตีนในปลาป่นสูงกว่าโปรตีนในพืช เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารที่เสริมกระเจียบเขียวที่ระดับต่าง ๆ พบว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมกระเจียบเขียวมีค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมกระเจียบเขียวในสูตรอาหารจะแทนที่แป้งสาลีในสูตรอาหาร ทำให้การใช้แป้งสาลีในสูตรอาหารลดลง ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตลดลงด้วย มื้อองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตกลุ่มเซลลูลูโลส และเฮมิเซลลูลูโลสสูง (67.5 และ 15.4 %) ส่วนเปอร์เซ็นต์ลิกนิน และแพคติน มีค่าเท่ากับ 3.4 % และ 7.1 % [16] ถึงแม้ว่าเมื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของกระเจียบเขียวจะมีค่าสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น แต่เมื่อนำมาเสริมในอาหารแล้วผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ และมีการใช้แป้งสาลิลดลง จะส่งผลให้ระดับของคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยยาก [17] - [18] ในอาหารสูงขึ้น จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่มีการเสริมกระเจียบเขียวมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมกระเจียบเขียว สำหรับค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนพบมีค่าสูงในอาหารเสริมกระเจียบเขียวทุกระดับ และมีค่าต่ำที่สุดในอาหารกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมกระเจียบเขียว ถึงแม้ว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของกระเจียบเขียวจะมีค่าต่ำที่สุดก็ตาม การย่อยโปรตีนเกิดจากการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสซึ่งผลิตได้จากสัตว์น้ำเอง และอีกส่วนมาจากการผลิตของจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหาร ด้วยคุณสมบัติของกระเจียบเขียวที่มีสารเมือกหรือเส้นใยที่ละลายน้ำได้ (พรีไบโอติก) เมื่อเคลื่อนที่ลงสู่ลำไส้จะช่วยให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ ช่วยทำให้อาหารถูกย่อยในลำไส้ได้สะดวกมากยิ่งขึ้น [17] - [20] ด้วยคุณสมบัติของกระเจียบเขียวที่เป็นสารพรีไบโอติกช่วยในการเจริญเติบโต

ของโพรไบโอติก ทำให้มีปริมาณของโพรไบโอติกมากขึ้น มีการเจริญเติบโตและทำงานได้ดีขึ้นส่งผลต่อการทำงานในการย่อยโปรตีนในอาหารให้ดีขึ้นด้วย เนื่องจากเอนไซม์โปรติเอสในปลากินทั้งพืชและสัตว์ จะทำงานในสภาวะเป็นด่าง การทำงานของเอนไซม์จะเกิดที่ลำไส้เล็กร่วมกับการทำงานของโปรติเอสที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ในลำไส้ ดังนั้นการที่จำนวนหรือปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่มดีที่มีมากขึ้นจากการเสริมกระเจียบเขียวที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก จึงส่งผลให้การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารกลุ่มที่เสริมกระเจียบเขียวมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากาต้าที่ได้รับอาหารเสริมกระเจียบเขียวพบว่าการเสริมที่ระดับ 2 % มีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตของปลากาต้าได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปลาในกลุ่มนี้มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่น จึงส่งผลให้โปรตีนที่ได้รับถูกนำไปใช้ในการสร้างกล้ามเนื้อและส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ดีกว่าปลาในกลุ่มทดลองอื่น เป็นเหตุให้ปลาในกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตของกระเจียบเขียวพบว่ามีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น ถึงแม้ว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในกระเจียบเขียวจะต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่น แต่ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม และด้วยคุณสมบัติของกระเจียบเขียวที่มีองค์ประกอบของเยื่อใยที่ละลายน้ำสูง รวมถึงแร่ธาตุสำคัญ เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส โพแทสเซียม วิตามินเค วิตามินซี โฟเลต วิตามินบี 1 และวิตามินบี 6 นอกจากนี้กระเจียบเขียวยังอุดมไปด้วยสารกลุ่มไบโอแอคทีฟคอมโพเนนต์ (Bioactive Components) เช่น ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) โดยเฉพาะเคอร์เซทิน (Quercetin) และไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) [21] กระเจียบเขียวเป็นพืชที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง และเป็นแหล่งของแคลเซียม และโพแทสเซียม [6] นอกจากนี้กระเจียบเขียวยังมีสารประกอบฟอสโฟลิพิดที่สำคัญต่อระบบย่อยอาหารและระบบภูมิคุ้มกัน [7] - [8] มีความสำคัญต่อการควบคุมสารอนุมูลอิสระในร่างกาย การสร้างสารซ่อมแซมเซลล์ และทำปฏิกิริยาขจัดสารพิษที่เกิดในร่างกาย นอกจากนี้ในกระเจียบเขียวยังมีสารเมือกหรือเส้นใยที่ละลายน้ำได้ เมื่อลงสู่ลำไส้จะช่วยให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ (พรีไบโอติก) [19] - [20] ด้วยคุณสมบัติของกระเจียบเขียวที่มีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ปลามีสุขภาพที่ดี แข็งแรง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ดีกว่า จึงทำให้ปลากาต้าที่ได้รับอาหารเสริมกระเจียบเขียวที่ระดับ 2 % มีค่าการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่น แต่การเสริมกระเจียบเขียวที่ระดับสูงกว่านี้ จะมีผลให้การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนลดลงเนื่องจากองค์ประกอบในกระเจียบเขียวส่วนใหญ่เป็นเซลล์ลูโลส 67.5 % เซมิเซลล์ลูโลส 15.4 % ลิกนิน 7.1 % แพคติน 3.4 % และในกระเจียบเขียวยังเต็มไปด้วยเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่สัตว์น้ำไม่สามารถย่อยได้ นอกจากนี้ระดับเยื่อใยที่สูงจะส่งผลต่อการขัดขวางการดูดซึมสารอาหารและปริมาณอาหารที่ได้รับ ทำให้สัตว์น้ำอิ่มเร็วแต่ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ดังนั้นการเสริมกระเจียบเขียวที่ระดับไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการลดลงของการใช้ประโยชน์ของอาหารและการเจริญเติบโตของปลากาต้า จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าปลากาต้าสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเจียบเขียวได้ดี ในขณะที่การย่อยโปรตีนในอาหารมีประสิทธิภาพดีเมื่อมีการเสริมกระเจียบเขียว และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากาต้าสอดคล้องกับประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารที่มีการเสริมกระเจียบเขียว และส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น และระดับที่เหมาะสมสำหรับการเสริมกระเจียบเขียวในอาหารปลากาต้าอยู่ที่ 2 %

References

- [1] Uk-katawewat, S. and Pongchawee, K. (2543). **Taxonomy of Ornamental Fish for Thailand Exports**. Bangkok: Fisheries Department
- [2] Vidthayanon, C. (2547). **Handbook of Freshwater Fishes**. Bangkok: Bangkoksarakadee Press
- [3] Ingram, B. A. and Lasasimma, O. (2008). Production of *Cirrhinus molitorella* and *Labeo chrysophekadion* for Culture Based Fisheries Development in Lao PDR. Part 1. Captive Spawning. **Aquaculture Asia**. Vol. 13, No. 2, pp. 24-31
- [4] Chitmanat, C. (2551). **Fish Disease Handbook**. Chiangmai: Maejo University Press
- [5] Shengjie, L., Renhui, H., Nagendra, P., Shah, X. T., Yonghua, X., and Hua, W. (2014). Antioxidant and antibacterial activities of exopolysaccharides from *Bifidobacterium bifidum* WBIN03 and *Lactobacillus plantarum* R315. **Journal of Dairy Science**. Vol. 97, Issue 12, pp. 7334-7343. DOI: 10.3168/jds.2014-7912
- [6] Kumar, D. S., Tony, D. E., Kumar, A. P., Kumar, K. A., Rao, D. B. S., and Nadendla, R. (2013). A REVIEW ON: *Abelmoschus esculentus* (OKRA). **International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences (IRJPAS)**. Vol. 3, No. 4, pp. 129-132
- [7] Mizuno, T., Wang, G., Zhang, J., Kawagishi, H., Nishitoba, T., and Li, J. (1995). *Ganoderma lucidum* and *Ganoderma tsugae*: Bioactive Substances and Medical Effects. **Food Reviews International**. Vol. 11, Issue 1, pp. 151-166. DOI: 10.1080/87559129509541025
- [8] Shyang, C. S. and Mei, H. L. (2012). Composition Analysis and Immuno-Modulatory Effect of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Extract. **Food Chemistry**. Vol. 134, No. 4, pp. 1906-1911. DOI : 10.1016/j.foodchem.2012.03.110
- [9] Areekijseeree, M., Engkagul, A., Kovitvadhi, U., Thongpan, A., Mingmuang, M., Pakkong, P. and Torrisen, K. R. (2004). Temperature and pH Characteristics of Amylase and Proteinase of Adult Freshwater Pearl Mussel, *Hyriopsis (Hyriopsis) bialatus* Simpson 1900. **Aquaculture**. Vol. 234, No. 1-4, pp. 575-587
- [10] Rungruangsak, T. K., Moss, R., Andresen, L. H., Berg, A., and Waagbø, R. (2006). Different Expressions of Trypsin and Chymotrypsin in Relation to Growth in Atlantic Salmon (*Salmo Salar* L.). **Fish Physiol Biochem**. Vol. 32, No. 1, pp. 7-23. DOI: 10.1007/s10695-005-0630-5
- [11] Roghieh, S., Seyed, H., Hoseinifar, H. V. D., and Maryam, D. (2017). The Effects of Dietary Myrtle (*Myrtus communis*) on Skin Mucus Immune Parameters and mRNA Levels of Growth, Antioxidant and Immune Related Genes in Zebrafish (*Danio rerio*). **Fish Shellfish Immunol**. Vol. 66, pp. 264-269. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.05.007
- [12] Rainboth, W. J. (1996). The Taxonomy, Systematics, and Zoogeography of *Hypsibarbus*, a New Genus of Large Barbs (Pisces, Cyprinidae) from the Rivers of Southeastern Asia. **Zoology**. Vol. 129, No. 1-13, pp. 1-199

- [13] Chuapoehuk, W. (2543). **Aquatic Animal Nutrition and Feeding**. 2nd ed. Bangkok: Kasetsart University Press
- [14] De Silva, S. S. and Anderson, T. A. (1994). **Fish Nutrition in Aquaculture**. London: Chapman & Hall
- [15] Halver, J. E. and Hardy, R. W. (2002). **Fish Nutrition**. 3rd ed. New York: Academic Press
- [16] Kumar, A., Baranwal, D. K., Aparna, J., and Srivastav, K. (2013). Combining Ability and Heterosis for Yield and its Contributing Characters in Okra (*Abelmoschus esculantus* (L.) Moench). **Madras Agricultural Journal**. Vol. 100, No. 1-3, pp. 30-35
- [17] Siriphat, D. (1998). **Red/Green Okra Taste and Value**. Access (7 October 2017). Available (<https://www.doctor.or.th/article/detail/2421>)
- [18] Pamornprawat, S. (2008). **Okra**. Access (7 October 2017). Available (<https://www.doctor.or.th/article/detail/1186>)
- [19] Thammarutwasik, P., Hongpattarakere, T., Chantachum, S., Kijroongrojana, K., Itharat, A., Reanmongkol, W., Tewtrakul, S., and Ooraikul, B. (2009). Prebiotics - A Review. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. Vol. 31, No. 4, pp. 401-408
- [20] Wichienchot, S., Hongpattarakere, P., Jongjareonrak, A., Chansuwan, W., Hmadhlu, P., Hongpattarakere, T., Itharat, A., and Ooraikul, B. (2011). Extraction and Analysis of Prebiotics from Selected Plants from Southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST)*. Vol. 33, No. 5, pp. 517-523
- [21] Bawa, S. N. and Badrie, N. (2016). Nutrient Profile, Bioactive Components, and Functional Properties of Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Fruits, Vegetables, and Herbs. In: (Watson, R, and Preedy, V.). **Bioactive Foods in Health Promotion**. (1st ed). pp. 365-409. London: Academic Press