

ผลของการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารปลาสายวัยอ่อน ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต
เอนไซม์ย่อยอาหาร ชีวเคมีในเลือด และจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้
Effect of Jerusalem Artichoke Powder Supplemented in Striped Catfish Larvae
(*Pangasianodon hypophthalmus*) Diet on Growth Performance, Digestive Enzyme
Activities, Plasma Biochemical Parameters and Histopathology of Liver and Intestine

ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด^{1*}, กฤติมา กษมาวุฒิ¹, สุริยา อุดตัง¹, สุขสันต์ ยุกติ¹, ชนะพล สวัสดิ์พูน¹ และรัตนจิรา รัตนประเสริฐ²

Supalug Kattakdad^{1*}, Krittima Kasamawut¹, Suriya Udduang¹

Suksan Yokdee¹, Chanaphon Sawatphun¹ and Ruttanachira Ruttanaprasert²

Received date: 2 ส.ค. 67 Revised date: 8 ต.ค. 67 Accepted date: 10 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.004>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารปลาสายวัยอ่อน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ อาหารเสริมผงแก่นตะวัน 0% (JA0; กลุ่มควบคุม), 0.5% (JA0.5), 1.0% (JA1.0), 1.5% (JA1.5) และ 2.0% (JA2.0) ทดลองในปลาสายวัยน้ำหนักเฉลี่ย 4.24 ± 0.10 กรัมต่อตัว เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาสายวัยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวันมีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงกว่าปลาในชุดควบคุม โดยปลาสายวัยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันสูงที่สุด และมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด ($p < 0.05$) ในขณะที่ทุกชุดการทดลองมีอัตราการรอดตายไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าระหว่าง 94.27-98.10 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาค่าชีวเคมีในเลือด พบว่า ปลาสายวัยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าโปรตีน และอิมมูโนโกลบูลินในซีรัมสูงที่สุด ($p < 0.05$) อีกทั้งปลาสายวัยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวันมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ย่อยอาหารในตับและลำไส้ สูงกว่าชุดควบคุม ($p < 0.05$) การศึกษาจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้ พบว่า การเสริมผงแก่นตะวันไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงจุลพยาธิวิทยาของตับ และส่งผลด้านบวกต่อจุลพยาธิวิทยาในลำไส้ โดยปลาสายวัยที่ได้รับอาหาร JA1.5 และ JA2.0 มีความยาวของวิลโลในลำไส้สูงที่สุด ($p < 0.05$) และปลาสายวัยที่ได้รับอาหาร JA1.0 และ JA2.0 มีความกว้างของวิลโลสูงที่สุด ($p < 0.05$) การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริมผงแก่นตะวัน 2% สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกันและประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงที่สุด และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารได้

คำสำคัญ: แก่นตะวัน พรีไบโอติก อาหารปลา ปลาสายวัย

Abstract

The objectives of the present study were to investigate the effects of Jerusalem artichoke powder supplemented in striped catfish larvae (*Pangasianodon hypophthalmus*) diet. The experiment was conducted as a completely randomized design with five treatments and three replicates: 0% (JA0; control diet), 0.5% (JA0.5), 1.0% (JA1.0), 1.5% (JA1.5) and 2.0% (JA2.0) of Jerusalem artichoke powder supplementation. Striped catfish (initial mean body weight = 4.24 ± 0.10 g/fish) were fed experimental diet for 8 weeks. The results found that fish fed Jerusalem artichoke powder showed higher growth performance and feed utilization than control group. Moreover, fish fed JA2.0 showed the highest final weight, weight gain, average daily growth as well as lowest feed conversion ratio ($p < 0.05$). However, survival rate showed no significant difference with all treatment groups with the value between 94.27 to 98.10%. Concerning plasma biochemical parameters, fish fed JA2.0 displayed the highest total protein and total Immunoglobulin ($p < 0.05$). In addition, the fish fed Jerusalem artichoke powder showed higher digestive enzyme activities than control group ($p < 0.05$). Liver and intestinal histopathology were investigated. The results showed that Jerusalem artichoke had no negative effect on liver

¹ สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดสุรินทร์ 32000

² สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดสุรินทร์ 32000

¹ Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology, Surin 32000

² Department of Plant Science, Textile, and Design, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology, Surin 32000

* Corresponding author: supalug.ka@rmuti.ac.th

histopathology. In addition, intestinal histopathology showed that fish fed JA1.5 and JA2.0 had the highest villi height ($p < 0.05$) whereas fish that received JA1.0 and JA2.0 exhibited the highest villi width ($p < 0.05$). This study indicates that supplementation with 2% Jerusalem artichoke powder is an optimal level to stimulate growth, enhance immune function, improve feed efficiency, and promote digestive enzyme activity.

Keywords: Jerusalem artichoke, prebiotic, fish feed, striped catfish

คำนำ

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke, *Helianthus tuberosus*) เป็นไม้ล้มลุกกลุ่มไม้ดอกในตระกูลทานตะวัน มีหัวใต้ดิน (tuber) คล้ายขิงและข่า ส่วนหัวของแก่นตะวันประกอบไปด้วย อินูลิน (Inulin) ประมาณ 14-20 เปอร์เซ็นต์ และ Fructooligosaccharide (FOS) 3-6 เปอร์เซ็นต์ (Tanjor et al., 2012) ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ที่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ แต่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ เช่น Bifidobacteria และ Lactobacillus เป็นต้น สารกลุ่มพรีไบโอติกจึงถือเป็นอาหารของจุลินทรีย์ชนิดดีในลำไส้ เป็นการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดดีและลดจำนวนจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ดีหรือจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหาร (Pathogenic organism) และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายได้อีกด้วย (Spiller, 2001) ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้นำสารเคมีและยาปฏิชีวนะมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อลดการติดเชื้อโรค ควบคุมจำนวนแบคทีเรียก่อโรคในระบบการเลี้ยง และส่งเสริมแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร แต่การใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะในอาหารสัตว์ส่งผลให้เกิดสารตกค้างซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค อีกทั้งเมื่อใช้เป็นเวลานานยังส่งผลให้เกิดอาการดื้อยาและตกค้างในสิ่งแวดล้อม การเสริมวัตถุดิบอาหารจากธรรมชาติ เช่น แก่นตะวัน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้เป็นสารเสริมพรีไบโอติกในอาหารสัตว์น้ำแทนยาปฏิชีวนะ เนื่องจากสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคอย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลดีต่อสุขภาพของสัตว์ โดยได้มีการทดลองเสริมสารพรีไบโอติกในสัตว์น้ำหลากหลายชนิด เช่น การเสริมอินูลินในอาหารปลา Atlantic salmon (*Salmo salar*) (Refstie et al., 2006), ปลา Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) (Hunt et al., 2019), ปลา hybrid surubins (*Pseudoplatystoma* sp.) (Mourino et al., 2012), great sturgeon (*Huso huso*) (Ahmdifar et al., 2011), ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) (Ibrahim et al., 2010; Zhou et al., 2020), ปลา gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) (Cerezuela et al., 2012), Carp (*Cyprinus carpio*) (Mousavi et al., 2016) และการเสริมพรีไบโอติก galactooligosaccharide (GOS), mannanoligosaccharide (MOS) และ β -glucan ในอาหารปลาสวาย (*Pangasianodon hypophthalmus*) (Sutriana et al., 2021), การเสริมแก่นตะวันในอาหารปลานิล (Tientam et al., 2015), การเสริมแก่นตะวัน และ *Lactobacillus plantarum* ในอาหารปลา *Pangasius bocourti* ซึ่งพบว่าการเสริมแก่นตะวันปริมาณ 5 g/kg ร่วมกับ 10^8 cfu/g ของ *L. plantarum* เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลา (Van Doan et al., 2015) ทั้งนี้ยังไม่พบรายงานการเสริมแก่นตะวันในอาหารปลาสวายวัยอ่อน

ปลาสวาย (Striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*) เป็นปลาน้ำจืดขนาดใหญ่ซึ่งพบเห็นอยู่ทั่วไปในประเทศไทย นิยมเลี้ยงทั้งในบ่อและกระชังเนื่องจากปลาสวายเจริญเติบโตเร็วมีความต้านทานต่อโรคสูง และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำได้ดี ปลาสวายมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อปลาแช่แข็ง (frozen fillet) เนื่องจากเนื้อปลามีสีขาวเป็นที่นิยมของตลาดและมีความต้องการสูงอย่างต่อเนื่อง ในปี ค.ศ. 2020 มีผลผลิตปลาสวายจากทั่วโลกจำนวน 2,520,400 ตัน คิดเป็น 5.1 เปอร์เซ็นต์ จากผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงทั่วโลก (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022) ในประเทศไทยมีผลผลิตปลาสวายจากการเพาะเลี้ยง 9,600 ตัน หรือ 2.1 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตสัตว์น้ำจืดจากการเพาะเลี้ยง คิดเป็นมูลค่า 276.65 ล้านบาท (Department of Fisheries, 2022) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารปลาสวายวัยอ่อน ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เอนไซม์ย่อยอาหาร ชีวเคมีในเลือด และจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการเลี้ยงปลาสวายต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design) แบ่งชุดทดลองออกเป็น 5 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองมี 3 ซ้ำ คือ การเลี้ยงปลาด้วยอาหารเสริมผงแก่นตะวัน 0 เปอร์เซ็นต์ (JA0.0, กลุ่มควบคุม), 0.5 เปอร์เซ็นต์ (JA0.5), 1.0 เปอร์เซ็นต์ (JA1.0), 1.5 เปอร์เซ็นต์ (JA1.5) และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (JA2.0)

การเตรียมแก่นตะวันและอาหารทดลอง

นำแก่นตะวันสายพันธุ์ 50-4 จากแปลงทดลอง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ มาล้างทำความสะอาด แยกเฉพาะส่วนหัวมาหั่นให้มีความหนา 3-5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำไปอบเพื่อลดปริมาณความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ นำมาบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนให้มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 500 ไมโครเมตร จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงแก่นตะวัน (Association of Official Analytical Chemists, 2005) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Chemical composition of Jerusalem artichoke powder (% dry weight basis)

Chemical composition	% dry weight basis
Crude protein	3.11
Crude fat	1.25
Crude fiber	3.78
Ash	1.05
Moisture	9.28
Values by calculation	
Nitrogen free extracts ^a (%)	81.53
Digestible energy ^b (kcal/100g)	315.97

^a Nitrogen-free extract = 100 – (%moisture + %crude protein + %crude lipid + %crude fiber + %ash)

^b Digestible energy (Kcal/100g) = (%protein x 3.5) + (%fat x 8.0) + (%NFE x 2.5)

ออกแบบสูตรอาหารทดลองจำนวน 5 สูตร ให้มีระดับโปรตีนในอาหารใกล้เคียงกัน (โปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์) โดยมีวัตถุดิบอาหารสัตว์ประกอบด้วย ปลาป่น, กากถั่วเหลือง, รำสกัดน้ำมัน, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด, น้ำมันพืช, ไคคลเซียมฟอสเฟต, วิตามินและแร่ธาตุพรีเม็กซ์, วิตามินซี และผงแก่นตะวัน นำวัตถุดิบมาบดละเอียด ซังน้ำหนัก และผสมผงแก่นตะวันตามชุดการทดลองดังแสดงใน Table 2 จากนั้นผสมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นและอัดขึ้นรูปอาหารปลาเม็ดลอยน้ำหนัก 2-3 มิลลิเมตร อบแห้งเม็ดอาหารด้วยตู้อบลมร้อนจนกระทั่งอาหารมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำอาหารทดลองมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (Association of Official Analytical Chemists, 2005) ดังแสดงใน Table 2 และเก็บอาหารทดลองในถุงปิดมิดชิดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

Table 2 Formulation and chemical composition of the experimental diets

Raw material (%)	Experimental diets				
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0
Fish meal	20	20	20	20	20
Soybean meal	38	38	38	38	38
Corn meal	10	10	10	10	10
Rice bran	16	16	16	16	16
Cassava	10	9.5	9	8.5	8
Jerusalem artichoke powder	0	0.5	1	1.5	2
Soya oil	3	3	3	3	3
Vitamin C	1	1	1	1	1
Di-calcium phosphate	1	1	1	1	1
Vitamin-mineral premixed ^a	1	1	1	1	1
Chemical composition by proximate analysis (% dry weight basis)					
Crude protein	32.08	32.22	32.72	32.04	32.45
Crude fat	4.49	4.58	4.62	4.58	4.60
Crude fiber	5.74	5.63	5.61	5.70	5.57
Ash	8.96	9.03	9.12	8.73	8.85
Moisture	9.65	9.12	9.22	9.46	9.53
Values by calculation					
Nitrogen free extracts ^b (%)	39.08	39.42	38.71	39.49	39.00
Digestible energy ^c (kcal/100g)	246.35	258.42	248.72	247.97	248.34

^a Vitamin premix provided per kg of diet: VA 12,000,000 IU; VD 2,000,000 IU; VE 6000 IU; VK 2000 mg; VB1 800 mg; VB2 2500 mg; VB6 800 mg; VB12 10 mg. Mineral provided per kg of diet: Mn 18 mg; Mg 200 mg; Co 0.1 mg; I 0.25 mg; Fe 140 mg; Cu 2.5 mg; Zn 65 mg; Se 0.2 mg.

^b Nitrogen-free extract = 100 – (moisture + crude protein + crude lipid + crude fiber + ash)

^c Digestible energy (Kcal/100g) = (%protein x 3.5) + (%fat x 8.0) + (%NFE x 2.5)

สภาวะการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

สุ่มลูกพันธุ์ปลาซวายจำนวน 750 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 4.24 ± 0.10 กรัมต่อตัว ความยาวเฉลี่ย 8.96 ± 1.25 เซนติเมตร ต่อตัว จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ นำมาเลี้ยงในกระชังขนาด $1 \times 1 \times 1$ เมตร ที่แขวนในบ่อซีเมนต์ปริมาตรน้ำ 30 ตัน ที่ความหนาแน่น 50 ตัวต่อกระชัง และเติมอากาศภายในกระชังตลอดการทดลอง ให้อาหารทดลองในอัตรา 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลา วันละ 3 มื้อ เวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. โดยทำการปรับปริมาณอาหารทดลองทุก ๆ 2 สัปดาห์ และทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

การจัดการคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง ทำการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำปริมาตร 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำในบ่อทุกสัปดาห์ และตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง ซึ่งมีค่าอุณหภูมิน้ำอยู่ระหว่าง $27.5\text{--}28.2^{\circ}\text{C}$, ค่า pH อยู่ในช่วง 7.3–8.0, ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ $4.86\text{--}5.22$ mg/L และค่าแอมโมเนียรวมอยู่ระหว่าง $0.01\text{--}0.02$ mg/L โดยขั้นตอนการทดลองได้ดำเนินการตามแนวทางการใช้สัตว์เพื่อนงานทางวิทยาศาสตร์ ที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (เลขที่ U1-05537–2559)

การเก็บข้อมูล

การเจริญเติบโต

บันทึกน้ำหนักปลาซวายเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง โดยสุ่มปลาซวายกระชังละ 10 ตัว นับจำนวนปลาที่เหลือ และจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณการเจริญเติบโต ดังนี้ น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (Final weight; กรัม), อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily growth; กรัม/ตัว/วัน), น้ำหนักที่เพิ่ม (Weight gain; กรัม/ตัว), อัตรา

การเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate, %/วัน), อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio), อัตรารอด (Survival rate; %), ค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index; %) และ ค่าดัชนีอวัยวะภายใน (Visceral somatic index; %)

ชีวเคมีในเลือด

สุ่มตัวอย่างปลาหน่วยการทดลองละ 5 ตัว ทำให้สลบด้วยการแช่ใน clove oil ความเข้มข้น 30 ส่วนในล้านส่วน นำมาเจาะเลือดที่ caudal vein บริเวณโคนหางด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร และหั่วเข็ม 24G ที่ไม่เคลือบด้วย (ethylenediaminetetraacetic acid: EDTA) ทิ้งให้เลือดแข็งตัวในหลอดเก็บตัวอย่าง และนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อแยกเก็บตัวอย่างซีรัม แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าชีวเคมีในเลือด ดังนี้ ค่าโปรตีนในเลือด (Total Protein) ตามวิธี Lowry's method (Lowry et al., 1951) และค่าอิมมูโนโกลบูลิน (Total Immunoglobulin) ตามวิธีการของ Siwicki et al. (1994)

เอนไซม์ย่อยอาหาร

เก็บตัวอย่างตับและลำไส้ ของปลาสวายจำนวน 5 ตัวต่อหน่วยการทดลอง หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำหนักตับและลำไส้ และนำตัวอย่างแต่ละส่วนมาบดให้ละเอียดใน Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 50 mM pH 7.5 โดยใช้ homogenizer ซึ่งกำหนดสัดส่วนของน้ำหนักตัวอย่างต่อ Tris- HCl buffer เป็น 1:3 (w/v) จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บของเหลวส่วนใสไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหาร โดยวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอส โดยใช้ casein เป็นสับสเตรต ตามวิธีของ Pan et al. (2005) วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส โดยใช้ starch solution 1% เป็นสับสเตรต ตามวิธีของ Bernfeld (1995) และ วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสโดยใช้ p - nitrophenyl- palmitate (pNPP) เป็นสับสเตรต ตามวิธีของ Markweg et al. (1995)

จุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้

นำปลาสวายจำนวน 5 ตัวต่อหน่วยการทดลอง มาสลบด้วยวิธีการแช่น้ำแข็ง (Rapid cooling) (Wilson et al., 2009) เก็บตัวอย่างตับและลำไส้ ความยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร มารักษาสภาพเนื้อเยื่อในสารละลาย buffer formalin 10 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างเนื้อเยื่อมาตัดแผ่นบาง (Section) ที่ความหนา 4 ไมโครเมตร แล้วนำมาย้อมสีฮีมาทอกซึลีนและอีโอซิน (Harris's hematoxylin and eosin; H&E) (Peng et al., 2013) จากนั้นนำสไลด์เนื้อเยื่อที่ได้มาศึกษาจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้ และความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกภาพโดยกล้องถ่ายภาพ (Nikon Eclipse Ci; CCD camera) และโปรแกรม NIS-elements D

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการทดลองแต่ละชุดทดลอง ด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร คุณภาพซาก และอัตราการรอดของปลาสวายที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวัน ที่ระดับ 0% (JA0; กลุ่มควบคุม), 0.5% (JA0.5), 1.0% (JA1.0), 1.5% (JA1.5) และ 2.0% (JA2.0) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (Table 3) พบว่า ปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน สูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA1.0 และ JA1.5 ซึ่งมีค่าการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ส่วนปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA0.5 และกลุ่มที่ไม่มีการเสริมผงแก่นตะวัน JA0.0 มีค่าการเจริญเติบโตต่ำที่สุด อีกทั้งปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA1.0, JA1.5 และ JA0.0 ในขณะที่ปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA0.5 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุด ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสวายหลังการทดลอง พบว่า ปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าอัตราการแลกเนื้อต่ำที่สุด ($p < 0.05$) มีค่า 2.97 ± 0.03 ในขณะที่ปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA1.0 และ JA1.5 มีค่าอัตราการแลกเนื้อไม่ต่างกัน มีค่า 3.70 ± 0.09 และ 3.72 ± 0.13 ตามลำดับ และปลาสวายที่ได้รับอาหาร JA0.0 และ JA0.5 มีค่าอัตราการแลกเนื้อสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.93 ± 0.13 และ 4.10 ± 0.14 ตามลำดับ หลังสิ้นสุดการทดลองพบว่าการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายของปลาสวาย โดยมีอัตราการรอดตายอยู่ระหว่าง 94.27-98.10 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาคุณภาพซากของปลาสวาย พบว่า ปลาสวาย

ที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าดัชนีตับสูงที่สุด ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 3.29 ± 0.20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.0 มีค่าดัชนีอวัยวะภายในสูงที่สุด ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 8.39 ± 0.35 เปอร์เซ็นต์

Table 3 Growth performance, feed utilization and carcass composition of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke for 8 weeks

Performance	Experimental diets					P-Value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Initial weight (g/fish)	4.07 $\pm$ 0.06	4.30 $\pm$ 0.10	4.33 $\pm$ 0.15	4.30 $\pm$ 0.10	4.20 $\pm$ 0.10	0.064
Final weight (g/fish)	17.63 $\pm$ 0.21 ^a	17.57 $\pm$ 0.31 ^a	18.93 $\pm$ 0.35 ^b	19.23 $\pm$ 0.31 ^b	23.23 $\pm$ 0.38 ^c	<0.001
ADG (g/fish/day)	0.24 $\pm$ 0.00 ^a	0.24 $\pm$ 0.00 ^a	0.26 $\pm$ 0.01 ^b	0.27 $\pm$ 0.01 ^b	0.34 $\pm$ 0.01 ^c	<0.001
WG (g/fish)	13.57 $\pm$ 0.23 ^a	13.27 $\pm$ 0.21 ^a	14.60 $\pm$ 0.35 ^b	14.93 $\pm$ 0.38 ^b	19.03 $\pm$ 0.31 ^c	<0.001
SGR (%/day)	2.62 $\pm$ 0.04 ^b	2.52 $\pm$ 0.01 ^a	2.63 $\pm$ 0.06 ^b	2.67 $\pm$ 0.06 ^b	3.05 $\pm$ 0.02 ^c	<0.001
FCR	3.93 $\pm$ 0.13 ^c	4.10 $\pm$ 0.14 ^c	3.70 $\pm$ 0.09 ^b	3.72 $\pm$ 0.13 ^b	2.97 $\pm$ 0.03 ^a	<0.001
SR (%)	94.27 $\pm$ 2.85	98.10 $\pm$ 3.29	96.17 $\pm$ 1.62	97.13 $\pm$ 2.85	96.17 $\pm$ 1.62	0.481
HSI (%)	2.43 $\pm$ 0.27 ^a	2.69 $\pm$ 0.21 ^a	2.41 $\pm$ 0.18 ^a	2.85 $\pm$ 0.46 ^{ab}	3.29 $\pm$ 0.20 ^b	0.019
VSI (%)	6.55 $\pm$ 0.73 ^a	7.19 $\pm$ 0.50 ^{ab}	8.39 $\pm$ 0.35 ^c	7.69 $\pm$ 0.61 ^{bc}	7.92 $\pm$ 0.12 ^{bc}	0.012

mean $\pm$ SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p<0.05$) differences.

ADG = Average daily growth, WG = Weight gain, SGR = Specific growth rate, FCR = Feed conversion ratio, SR= Survival rate, HIS = Hepatosomatic index, VSI = Visceral somatic index, JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

การศึกษาค่าชีวเคมีในเลือด แสดงใน Table 4 พบว่า ปลาสาวยมีปริมาณโปรตีนในซีรัมแปรผันตามปริมาณการเสริมผงแก่นตะวันในอาหาร โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีปริมาณโปรตีนในซีรัมสูงที่สุด ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.83 ± 0.01 กรัมต่อเดซิลิตร และปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุด JA0.0 มีปริมาณโปรตีนในซีรัม ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.63 ± 0.01 กรัมต่อเดซิลิตร เช่นเดียวกับปริมาณฮีมोगلوبินของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติจากปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 โดยมีค่าเท่ากับ 0.50 ± 0.00 และ 0.49 ± 0.02 กรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (JA0.0) มีปริมาณฮีมोगلوبินต่ำที่สุด เท่ากับ 0.33 ± 0.01 กรัมต่อเดซิลิตร

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารที่สกัดได้จากตับและลำไส้ของปลาสาวย (Table 5) พบว่า ปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวันมีกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารสูงกว่าปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุดควบคุม โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 มีค่ากิจกรรมโปรติเอสในตับสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่ปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสและไลเปสในตับสูงที่สุด ($p<0.05$) และกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสในลำไส้ของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.0 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA0.5 และ JA1.5 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$) และกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสในลำไส้ของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 และ JA2.0 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$)

การศึกษากิจกรรมของตับและลำไส้ของปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวัน พบว่า แก่นตะวันไม่ส่งผลด้านลบต่อการเปลี่ยนแปลงจุลพาริตีวิทยาของตับ (Figure 1) ในขณะที่การเสริมผงแก่นตะวันในอาหารส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจุลพาริตีวิทยาของลำไส้ โดยพบว่า ปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 มีความยาวของวิลโลสในลำไส้สูงที่สุด ($p<0.05$) และปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีความกว้างของวิลโลสสูงที่สุด ($p<0.05$) ดังแสดงใน Figure 2 และ Table 6

Table 4 Total Protein and immunoglobulin of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke 8 weeks

Performance	Experimental diets					P-Value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Total Protein (g/dl)	0.63±0.01 ^a	0.68±0.01 ^b	0.75±0.01 ^c	0.79±0.01 ^d	0.83±0.01 ^e	<0.001
Total Immunoglobulin (g/dl)	0.33±0.01 ^a	0.37±0.02 ^b	0.45±0.00 ^c	0.49±0.02 ^d	0.50±0.00 ^d	<0.001

mean ± SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p < 0.05$) differences.

JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

Table 5 Digestive Enzyme activities of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke 8 weeks

Enzyme activities (U/mgProtein)	Experimental diets					P-value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Liver						
Protease	0.034±0.01 ^a	0.225±0.05 ^b	0.203±0.05 ^b	0.282±0.02 ^c	0.278±0.06 ^c	<0.001
Amylase	0.123±0.02 ^a	0.216±0.01 ^b	0.219±0.02 ^b	0.238±0.01 ^b	0.284±0.01 ^c	<0.001
Lipase	337.93±12.41 ^a	404.07±17.88 ^a	551.67±46.67 ^b	635.70±32.35 ^b	635.70±61.22 ^c	<0.001
Intestine						
Protease	0.363±0.01 ^a	0.440±0.11 ^{ab}	0.533±0.01 ^b	0.467±0.01 ^b	0.451±0.01 ^{ab}	0.029
Amylase	0.243±0.01 ^b	0.300±0.01 ^d	0.254±0.02 ^{bc}	0.277±0.02 ^{cd}	0.193±0.01 ^a	<0.001
Lipase	468.13±44.44 ^a	652.13±46.09 ^b	660.80±99.88 ^b	722.53±42.84 ^c	810.17±14.20 ^c	<0.001

mean ± SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p < 0.05$) differences.

JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

Table 6 Intestinal histopathology of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke 8 weeks

Intestinal micromorphology (μm)	Experimental diets					P-value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Villi height	1802.4 $\pm$ 248.2 ^a	1845.0 $\pm$ 195.6 ^a	2521.0 $\pm$ 207.8 ^b	3188.4 $\pm$ 151.6 ^c	2880.1 $\pm$ 78.8 ^c	<0.001
Villi width	522.9 $\pm$ 37.4 ^{ab}	497.6 $\pm$ 37.0 ^a	686.4 $\pm$ 108.4 ^c	618.8 $\pm$ 27.5 ^{bc}	725.2 $\pm$ 60.8 ^c	0.004

mean $\pm$ SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p < 0.05$) differences.

JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

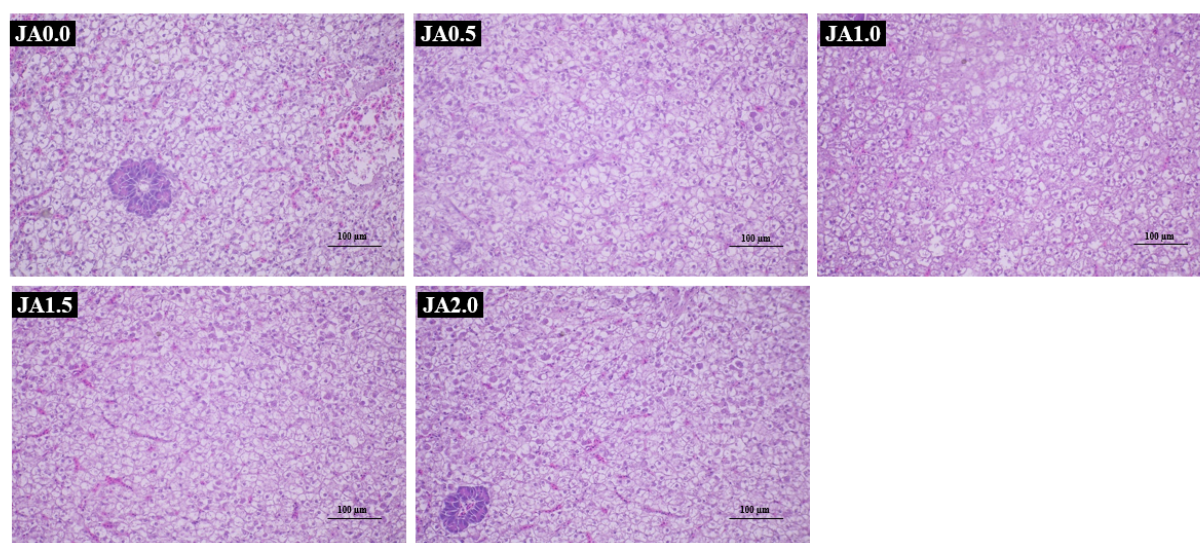


Figure 1 Histopathological changes in liver of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke (100 $\times$). JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

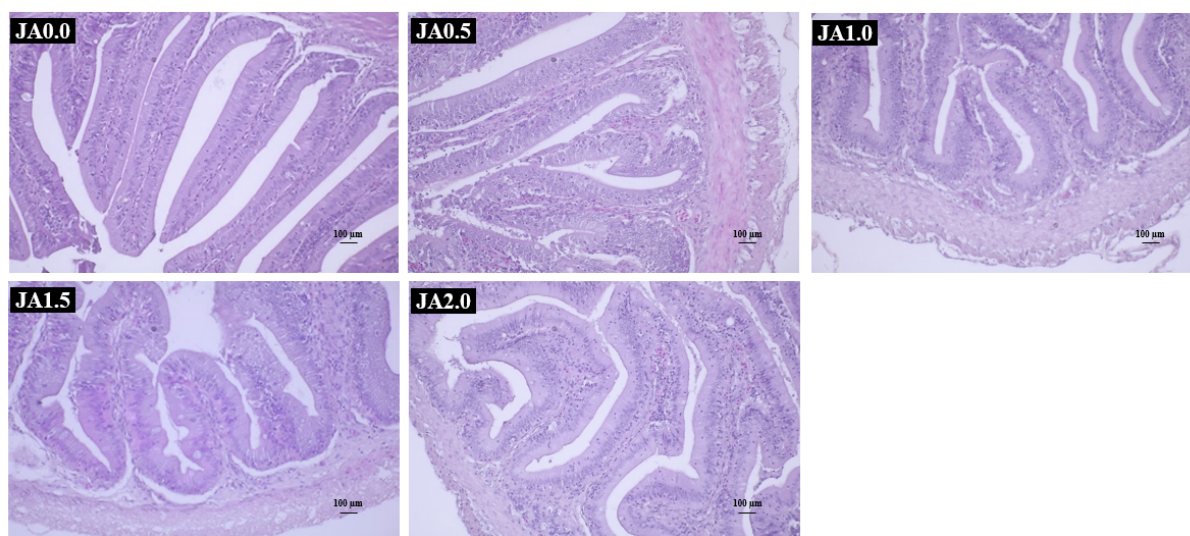


Figure 2 Histopathological changes in Intestine of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke (100x). JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

ปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมแก่ตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด รองลงมาคือปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมแก่ตะวันที่ระดับ 1.5, 1.0, 0.5 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ตามลำดับ การเสริมแก่ตะวันในอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายของปลาสาวยในทุกกลุ่มการทดลอง โดย Tanjor et al. (2012) รายงานว่า ส่วนหัวของแก่ตะวันประกอบไปด้วย อินูลิน (Inulin) ประมาณ 14-20 เปอร์เซ็นต์ และ Fructo-oligosaccharide (FOS) 3-6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ที่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ แต่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ เช่น Bifidobacteria และ Lactobacillus เป็นต้น (Spiller, 2001) จึงถือเป็นการเพิ่มอาหารของจุลินทรีย์ชนิดดีและลดจำนวนจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ดีหรือจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหารได้ (Pathogenic organism) จากงานวิจัยนี้ทำให้ทำให้ทราบว่าแก่ตะวันสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของปลาสาวยได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการเสริมแก่ตะวันและอินูลินในอาหารปลานิล ปลา Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) และ ปลา Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (Tientam et al., 2015; Ibrahem et al., 2010; Ortiz et al., 2013) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริม FOS และอินูลินในอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารในลำไส้ได้ดี และพบว่าการเสริมสารดังกล่าวมีผลทำให้ความยาวของ villi ในลำไส้ของสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (Blottiere et al., 2003) เช่นเดียวกับรายงานของ Wu et al. (2013) ซึ่งพบว่าการเสริม FOS ในปลา Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) ส่งผลให้ความยาวของ villi ในลำไส้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับ FOS ในอาหารเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเสริมอินูลินในปริมาณสูงเกินไปส่งผลให้จำนวน microvillus ลดลงและมีผลต้านลบต่อโครงสร้างของลำไส้ ซึ่งทำให้การดูดซึมอาหารลดลง เช่น การเสริมอินูลิน 150 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ในอาหารปลา Arctic char (*Salvelinus alpinus*) (Olsen et al., 2001) และ 10.0 กรัมต่อกิโลกรัมในอาหารปลา gilthead sea bream (*Sparus aurata*) (Cerezuela et al., 2013) โดย Caspary (1992) รายงานว่า villi ในลำไส้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึมสารอาหารเพิ่มขึ้น จึงสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการใช้อาหารของสัตว์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าการเสริมแก่ตะวันทำให้ความยาวของ villi เพิ่มขึ้น และยังสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารในตับและลำไส้ของปลาสาวย และสอดคล้องกับการเสริมพรีไบโอติกชนิดอินูลินในปลา Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) ที่ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน โลเปส และอะไมเลสเพิ่มสูงขึ้น (Hunt et al., 2019) นอกจากนี้พรีไบโอติกยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบย่อยอาหาร โดยการควบคุมความหนืดของลำไส้ (Gut viscosity) อีกด้วย (Ganguly et al., 2010) อย่างไรก็ตามการเสริมอินูลินไม่ส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส โลเปส และอะไมเลส ในปลา common carp (*Cyprinus carpio*) (Eshaghzadeh et al., 2014) ทั้งนี้จึงสรุปได้ว่าการเสริมแก่ตะวันซึ่งมีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติกในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหาร

ของปลาได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมสารฟิโอบิติกชนิดอินนูลินในอาหารยังกระตุ้นการดูดซึมแคลเซียม และเพิ่มปริมาณแคลเซียมในโครงสร้างกระดูกของปลาได้ (Ortiz et al., 2013) และทำให้การสะสมของแมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็กในเลือดปลาเพิ่มสูงขึ้น (Tientam et al., 2015) และส่งผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในลำไส้ของปลา (Kolida et al., 2002; Manning and Gibson, 2004; Hoseinifar et al., 2014; Wu et al., 2013; Soleimani et al., 2012) อย่างไรก็ตามการเสริมแกนตะวันและอินนูลินไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา weaning turbot (*Psetta maxima*), Atlantic salmon (*Salmo salar*) และ hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*) (Mahious et al., 2006a; Bakke-McKellep et al., 2007; Burr et al., 2010)

การศึกษานี้ยังพบว่าแกนตะวันยังสามารถปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาสาวยได้เป็นอย่างดี โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด ผลการศึกษานี้เป็นไปในทางเดียวกับการทดลองในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) (Tientam et al., 2015) และปลา Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) (Mahious et al., 2006b) อีกทั้งการเสริมแกนตะวันในอาหารปลาสาวยังมีผลทำให้ค่าดัชนีตับ และค่าดัชนีอวัยวะภายในเพิ่มสูงขึ้น โดย Shoemaker et al. (2003) รายงานว่า ตับของปลาหมึกมีการทำงานและเมตาบอลิซึมที่สำคัญทางด้านโภชนาการและระบบภูมิคุ้มกัน โดยค่าดัชนีตับของปลาจะลดลงเมื่อปลาอยู่ในสภาวะเครียด เกิดโรค หรืออดอาหาร ในภาวะที่ปลาอดอาหารหรือไม่ได้รับพลังงานจากภายนอก ตับจะผลิตกลูโคสเพื่อเป็นพลังงานให้ร่างกายโดยเฉพาะพลังงานที่สำคัญสำหรับสมองและเม็ดเลือดแดงด้วยการสลายไกลโคเจน (glycolysis) (Boonanuntanasarn, 2012) ดังนั้นการเสริมแกนตะวันในอาหารสามารถกระตุ้นการทำงานของตับให้ดีขึ้น จึงเป็นข้อบ่งชี้ถึงสุขภาพของปลาอีกทางหนึ่ง สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณโปรตีนในซีรัม (Total protein) ของปลาสาวย โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนในเลือดสูงที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวันที่ระดับ 1.5, 1.0, 0.5 และปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดลองในปลานิล (Tientam et al., 2015) และปลา sturgeon (Reza et al., 2009) โดย Sala-Rabanal et al. (2003) รายงานว่าปริมาณโปรตีนในเลือดของปลาเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียด โดยระดับโปรตีนในเลือดจะลดต่ำลงเมื่อปลาอยู่ในสภาวะเครียดซึ่งอาจเนื่องมาจากการติดเชื้อโรค หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และจากการศึกษาปริมาณอิมมูโนโกลบูลินในเลือดของปลาสาวยพบว่าปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวัน 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอิมมูโนโกลบูลินสูงที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Tientam et al. (2015) ซึ่งรายงานว่ ปริมาณอิมมูโนโกลบูลินของปลานิลเพิ่มสูงขึ้นในกลุ่มที่ได้อาหารเสริมแกนตะวัน โดยปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวันผง 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณอิมมูโนโกลบูลินสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการเสริมแกนตะวันไม่ส่งผลต่อปริมาณอิมมูโนโกลบูลินในปลา hybrid surubim (Mourino et al., 2012) ซึ่งปริมาณอิมมูโนโกลบูลินนี้สามารถบ่งชี้ถึงความสามารถในการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะผ่านสารน้ำหรือสารคัดหลั่งต่าง ๆ ในสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยมีหน้าที่จดจำเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมได้อย่างจำเพาะเจาะจง (Chitmanat, 2015) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมสาร FOS และอินนูลิน ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเลือด เช่น ปริมาณฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว (Ibrahim et al., 2010; Mourino et al., 2012; Reza et al., 2009)

สรุปผลการศึกษา

การเสริมผงแกนตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลาสาวยสามารถกระตุ้นอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงที่สุด การเสริมผงแกนตะวัน 1.5-2 เปอร์เซ็นต์ สามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของปลา และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร ในขณะที่การเสริมผงแกนตะวันในอาหารปลาไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมผงแกนตะวัน อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตของปลาสาวยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมแกนตะวันในอาหาร จึงควรศึกษาการเพิ่มปริมาณแกนตะวันในอาหารที่สูงขึ้นเพื่อให้ทราบระดับการเสริมแกนตะวันที่เหมาะสมอย่างแท้จริง และควรวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเสริมแกนตะวันในอาหารปลา เช่น ปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของปลา เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ของแกนตะวันในการเลี้ยงปลาอย่างแพร่หลายต่อไป

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ SRN2563OTH04

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมุติฐาน การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบ กับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: กฤติมา กษมาวุฒิ, สุริยา อุดตัง. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สุขสันต์ ยกดี, ชนะพล สวัสดิ์พูน. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: รัตนจิรา รัตนประเสริฐ.

เอกสารอ้างอิง

- Ahmdifar, E., Akrami, R., Ghelichi, A., & Zarejabad, A. M. (2011). Effects of different dietary prebiotic inulin levels on blood serum enzymes, hematologic, and biochemical parameters of great sturgeon (*Huso huso*) juveniles. **Comparative Clinical Pathology**, 20(1), 447-451.
- Association of Official Analytical Chemists. (2005). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. AOAC International Suite 500.
- Bakke-McKellep, A. M., Penn, M. H., Salas, P. M., Refstie, S., Sperstad, S., Landsverk, T., Ringo, E., & Kroghdahl, A. (2007). Effects of dietary soybean meal, inulin and oxytetracycline on intestinal microbiota and epithelial cell stress, apoptosis and proliferation in the teleost Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **British Journal of Nutrition**, 97(4), 699–713.
- Bernfeld, P. (1955). Amylases, α and β . In Colowick, S. P., & Kaplan, N. O. (Ed.), **Method in Enzymology**, pp. 149-158. Academic Press.
- Blottiere, H. M., Buecher, B., Galmiche, J. P., & Cherbut, C. (2003). Molecular analysis of the effect of short-chain fatty acids on intestinal cell proliferation. **Proceedings of The Nutrition Society**, 62(1), 101–106.
- Boonanuntanasarn, S. (2012). **Effects of Food Deprivation on Physiological Adaptation in Sand goby and Study on Hepatic Gene Expression in Fed Fish Comparing to Food-deprived Fish**. Retrieved from: <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5227/1/Fulltext.pdf>. (in Thai).
- Burr, G., Hume, M., Ricke, S., Nisbet, D., & Gatlin, D. (2010). In vitro and in vivo evaluation of the prebiotics GroBiotic®-A, inulin, mannanoligosaccharide, and galactooligosaccharide on the digestive microbiota and performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*). **Microbial Ecology**, 59(1), 187-198.
- Caspary, W. F. (1992). Physiology and pathophysiology of intestinal absorption. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 55(Suppl 1), 299S–308S.
- Cerezuela, R., Guardiola, F. A., Meseguer, J., & Esteban, M. A. (2012). Increases in immune parameters by inulin and *Bacillus subtilis* dietary administration to gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) did not correlate with disease resistance to *Photobacterium damsela*. **Fish and Shellfish Immunology**, 32(6), 1032-1040.
- Cerezuela, R., Meseguer, J., & Esteban, M. A. (2013). Effects of dietary inulin, *Bacillus subtilis* and microalgae on intestinal gene expression in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). **Fish & Shellfish Immunology**, 34(3), 843-848.
- Chitmanat, C. (2015). Passive immunity from broodstock fish. **Chiang Mai Veterinary Journal**, 13(2), 93-101. (in Thai)
- Department of Fisheries. (2022). **Fisheries Statistics of Thailand 2021**. No.14/2022. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Eshaghzadeh, H., Hoseinifar, S. H., Vahabzadeh, H., & Ringo, E. (2014). The effect of dietary inulin on growth performance survival and digestive enzyme activities of common carp (*Cyprinus carpio*) fry. **Aquaculture Nutrition**, 21(2), 242-246. <https://doi.org/10.1111/anu.12155>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. Retrieved from: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0461en>.
- Ganguly, S., Paul, I., & Mukhopadhyay, S. K. (2010). Application and effectiveness of immunostimulants, probiotics, and prebiotics in aquaculture: a review. **The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh**, 62(3), 130-138.
- Hoseinifar, S. H., Soleimani, N., & Ringø, E. (2014). Effects of dietary fructo-oligosaccharide supplementation on the growth performance, haematoimmunological parameters, gut microbiota and stress resistance of common carp (*Cyprinus carpio*) fry. **British Journal of Nutrition**, 112(8), 1296-1302.

- Hunt, A. O., Cetinkaya, M., Yilmaz, F. O., Yildirim, M., Berkoz, M., & Yalin, S. (2019). Effect of dietary supplementation of inulin on growth performance, digestion enzyme activities and antioxidant status of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, 7(1), 1344-1353.
- Ibrahim, M. D., Fathi, M., Mesalhy, S., & Abd, E. A. (2010). Effect of dietary supplementation of inulin and vitamin C on the growth, hematology, innate immunity, and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish and Shellfish Immunology**, 29(2), 241-246.
- Kolida, S., Tuohy, K., & Gibson, G. R. (2002). Prebiotic effects of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, 87(Suppl 2), S193–S197.
- Lowry, H. O., Rosebrough, J. N., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurements with the Folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, 193(1), 265-275.
- Mahious, A. S., Gatesoupe, F. J., Hervi, M., Metailler, R., & Ollevier, F. (2006a). Effect of dietary inulin and oligosaccharides as prebiotics for weaning turbot, *Psetta maxima* (Linnaeus, C. 1758). **Aquaculture International**, 14(1), 219-229.
- Mahious, A. S., Van, L. J., & Ollevier, F. (2006b). Impact of the prebiotics, inulin and oligofructose on microbial fermentation in the spiral valve of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). In **Proceedings of the World Aquaculture Society Meeting**, pp. 564–565. World Aquaculture Society.
- Manning, T., & Gibson, G. R. (2004). Prebiotics. **Best Practice and Research: Clinical Gastroenterology**, 18, 287–292.
- Markweg, H., Lang, M. S., & Wagner, F. (1995). Dodecanoic acid inhibition of lipase from *Acinetobacter* sp. OPA 55. **Enzyme and Microbial Technology**, 17, 512-516.
- Mourino, J. L. P., Vieira, N. F. D., Jatoba, A. B., Silva, B. C., Jesus, G. F. A., Seiffert, W. Q., & Martins, M. L. (2012). Effect of dietary supplementation of inulin and *W. cibaria* on hemato-immunological parameter of hybrid surubim (*Pseudoplatystoma* sp). **Aquaculture nutrition**, 18(1), 73-80.
- Mousavi, E., Mohammadiarzam, H., Mousavi, S. M., & Ghatrami, E. R. (2016). Effects of Inulin, savory and onion powders in diet of juveniles carp *Cyprinus carpio* (Linnaeus 1758) on gut micro flora, immune response and blood biochemical parameters. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 16(4), 831-838.
- Olsen, R. E., Myklebust, R., Kryvi, H., Mayhew, T. M., & Ringo, E. (2001). Damaging effect of dietary inulin on intestinal enterocytes in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). **Aquaculture Research**, 32(1), 931-934.
- Ortiz, L. T., Rebole, A., Velasco, S., Rodriguez, M. L., Trevino, J., Tejedor, J. L., & Alzueta, C. (2013). Effects of inulin and fructooligosaccharides on growth performance, body chemical composition and intestinal microbiota of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, 19(1), 475-482.
- Pan, L. Q., Xiao, G. Q., Zhang, H. X., & Luan, Z. H. (2005). Effects of different dietary protein content on growth and protease activity of *Eriocheir sinensis* larvae. **Aquaculture**, 246(1-4), 313-319.
- Peng, M., Xu, W., Ai, Q., Mai, K., Liufu, Z., & Zhang, K. (2013). Effects of nucleotide supplementation on growth, immune responses and intestinal morphology in juvenile turbot fed diets with graded levels of soybean meal (*Scophthalmus maximus* L.). **Aquaculture**, 392-395(1), 51-58.
- Reza, A., Abdolmajid, H., Abbas, M., & Abdolmohammad, A. K. (2009). Effect of dietary prebiotic inulin on growth performance, intestinal microflora, body composition and hematological parameters of juvenile beluga, *Huso huso* (Linnaeus, 1758). **Journal of the World Aquaculture Society**, 40(6), 771-779.
- Refstie, S., Bakke-McKellep, A. M., Michael, H. P., Sundby, A., Shearer, K. D., & Krogdahl, A. (2006). Capacity for digestive hydrolysis and amino acid absorption in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with soybean meal or inulin with or without addition of antibiotics. **Aquaculture**, 261(1), 392–406.
- Sala-Rabanal, M., Sanchez, J., Ibarz, A., Fernandez-Borras, J., Blasco, J., & Gallardo, M. A. (2003). Effects of low temperature and fasting on hematology and plasma composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Fish Physiology and Biochemistry**, 29(2), 105-115.
- Shoemaker, C. A., Klesius, P. H., Lim, C., & Yildirim, M. (2003). Feed deprivation of channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), influences organosomatic indices, chemical composition and susceptibility to *Flavobacterium columnare*. **Journal of Fish Diseases**, 26(1), 553-561.
- Siwicki, A. K., Anderson, D. P., & Rumsey, G. L. (1994). Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affect non-specific immunity and protection against furunculosis. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, 41(1-2), 125-139.
- Soleimani, N., Hoseinifar, S. H., Merrifield, D. L., Barati, M., & Abadi, Z. H. (2012). Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. **Fish and Shellfish Immunology**, 32(2), 316-321.
- Spiller, G. A. (2001). **CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition**. CRC Press.
- Sutriana, A., Akter, M. N., Hashim, R., & Nor, S. A. M. (2021). Effectiveness of single and combined use of selected dietary probiotic and prebiotics on growth and intestinal conditions of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1978) juvenile. **Aquaculture International**, 29(1), 2769-2791.

- Tanjor, S., Judprasong, K., Chaito, C., & Jogloy, S. (2012). Inulin and fructooligosaccharides in different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **KKU Research Journal**, 17(1), 25-34. (in Thai).
- Tientam, N., Khempaka, S., Paengkoum, P., & Boonanuntanasarn, S. (2015). Effects of inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) as prebiotic ingredients in the diet of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Animal Feed Science and Technology**, 207(1), 120-129.
- Van Doan, H., Doolgindachbaporn, S., & Suksri, A. (2015). Effect of *Lactobacillus plantarum* and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) on growth performance, immunity and disease resistance of Pangasius catfish (*Pangasius bocourti*, Sauvage 1880). **Aquaculture Nutrition**, 22(2), 444-456.
- Wilson, J. M., Bunte, R. M., & Carty, A. J. (2009). Evaluation of rapid cooling and tricaine methanesulfonate (MS222) as methods of euthanasia in zebrafish (*Danio rerio*). **Journal of American Association for Laboratory Animal Science**, 48(6), 785-789.
- Wu, Y., Liu, W. B., Li, H. Y., Xu, W. N., He, J. X., Li, X. F., & Jiang, G. Z. (2013). Effects of dietary supplementation of fructooligosaccharide on growth performance, body composition, intestinal enzymes activities and histology of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, 19(1), 886-894.
- Zhou, L., Zhang, J., Yan, M., Tang, S., Wang, X., Qin, J.G., Chen, L., & Li, E. (2020). Inulin alleviates hypersaline-stress induced oxidative stress and dysbiosis of gut microbiota in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 529(1), 735681. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735681>.