

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๓๒/๒๕๕๕



Technical Paper No. 32/2012

ระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลากะรังเสือ
(*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775)

The Optimum Protein and Lipid Level in Tiger Grouper
(*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775) Diet

วรรณเพ็ญ คำมี	Wanpen	Kummee
จوزهดี พงศ์มณีรัตน์	Juadee	Pongmaneerat
สมศักดิ์ จิระวัฑโฒ	Somsak	Jirawattho

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง
กรมประมง
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Coastal Fisheries Research and Development Bureau
Department of Fisheries
Ministry of Agriculture and Cooperatives



ระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลากะรังเสือ

(*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775)

The Optimum Protein and Lipid Level in Tiger Grouper

(*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775) Diet

วรรณเพ็ญ คำมี	Wanpen	Kummee
จوزهดี พงศ์มณีรัตน์	Juadee	Pongmaneerat
สมศักดิ์ จิระวัฑโฒ	Somsak	Jirawattho

ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่
สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง
กรมประมง
๒๕๕๕

Krabi Coastal Fisheries Research and Development Center
Coastal Fisheries Research and Development Bureau
Department of Fisheries

2012

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	4
วิธีดำเนินการ	
1. การวางแผนการทดลอง	4
2. สถานที่ศึกษาและระยะเวลาการทดลอง	4
3. วิธีการทดลอง	5
4. การวิเคราะห์ข้อมูล	8
ผลการศึกษา	9
สรุปและวิจารณ์ผล	17
คำขอขอบคุณ	20
เอกสารอ้างอิง	20

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของอาหารทดลองที่มีระดับ โปรตีนและไขมันต่างกัน	7
2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างหยาบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งในอาหารทดลองแต่ละสูตร	7
3 อัตราการเจริญเติบโตของปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับ โปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	10
4 อัตรารอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการกินอาหารของปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	11
5 ประสิทธิภาพโปรตีน โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา ดัชนีตัว ไขมันที่สะสมในตัวปลาของปลากะรังเสือ ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับ โปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	13
6 องค์ประกอบทางเคมีของปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับ โปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	14
7 กิจกรรมเอ็นไซม์ในปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับ โปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	15
8 คุณภาพน้ำในถังทดลองเลี้ยงปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	16

ระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลากะรังเสือ (*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775)

วรรณเพ็ญ คำมี* จูอะดี พงศ์มณีรัตน์^๒ และ สมศักดิ์ จิระวัฑฒัน**
^๑ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ ^๒ราชการบริหารส่วนกลาง กรมประมง

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงปลากะรังเสือ โดยใช้อาหารทดลองที่โปรตีน 3 ระดับ คือ 40, 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงปลากะรังเสือน้ำหนักเริ่มต้น 17.66 ± 0.14 กรัม โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้งจนอิ่ม หลังเลี้ยงปลาด้วยอาหารทดลอง 12 สัปดาห์ พบว่าปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตรารอดตายดีกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีน โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา ค่าดัชนีตับ กิจกรรมเอ็นไซม์ไลเปสในตับ ในทางเดินอาหาร และกิจกรรมเอ็นไซม์โปรติเอสในตับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง แต่กิจกรรมเอ็นไซม์โปรติเอสในทางเดินอาหาร ปลาที่ได้รับอาหารโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ และกิจกรรมเอ็นไซม์อะไมเลสในตับและทางเดินอาหารปลาที่ได้รับอาหารโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ามียุทธวิธีร่วมระหว่างโปรตีนและไขมันต่ออัตราการเจริญเติบโต โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา และกิจกรรมเอ็นไซม์ในปลากะรังเสือ และสามารถสรุปว่าระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลากะรังเสือน้ำหนักประมาณ 17.0-79.0 กรัม

สำคัญ : กะรังเสือ โปรตีน ไขมัน

* ผู้รับผิดชอบ : ๑๔๑ ม.๖ ต.สไไทย อ.เมือง จ.กระบี่ ๘๑๐๐๐

โทร 0-๗๕๖๖-๒๐๖๐ e-mail : krabiauqua@nicaonline.com

The Optimum Protein and Lipid Level in Tiger Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775) Diet

Wanpen Kummee¹ Juadee Pongmaneerat² and Somsak Jirawattho¹

¹Krabi Coastal Fisheries Research and Development Center

²Office of Central Administration, Department of Fisheries.

Abstract

A feeding trial of three dietary protein levels (40, 45 and 50%) and two dietary lipid levels (6 and 12%) was conducted to investigate the optimum dietary protein and lipid levels for tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*). Each of the six diets was fed to triplicate groups of fish with average weight 17.66 ± 0.14 g for 12 weeks to satiation.

The results showed that fish fed 50% dietary protein and 6% dietary lipid was significantly ($p < 0.05$) higher in growth rate, survival rate and lower in food conversion ratios than those fed with 45% and 40% dietary protein among dietary lipid levels. Feeding rate, protein efficiency ratio, apparent protein retention and hepatosomatic index were not significantly different ($P > 0.05$) among treatments. The digestive enzyme activities, protease of liver and lipase of liver and digestive tract were not significantly different among treatments, whereas protease activity in digestive tract of fish fed 50% protein and 12% lipid was higher than other groups. On the other hand, amylase activities in liver and digestive tract of fish fed 40% protein and 6% lipid were significantly ($p < 0.05$) higher than other treatments.

There were interaction between protein and lipid dietary on the growth rate, apparent protein retention and enzyme activity. Consequently, it can be concluded that dietary protein and lipid levels of 50% and 6% were suitable for tiger grouper.

Keyword: Tiger Grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*, Protein, Lipid

*Corresponding author: 141 Moo 6, Saithai, Muang, Krabi 81000 Tel. 0-756-62060

e-mail: krabiaqua@nicaonline.com

คำนำ

ปลากะรังเสือหรือปลากะรังลายหินอ่อนมีชื่อสามัญ Tiger grouper, brown marbled grouper หรือ flowery cod ชื่อวิทยาศาสตร์ *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsskal, 1775) เป็นปลาในวงศ์ Serranidae ซึ่งอยู่ในครอบครัวเดียวกับปลากะรังดอกแดง ปลากะรังดอกดำ และปลากะรังทะเล เป็นต้น ปลากะรังเสือเป็นปลาที่มีเนื้อนุ่ม รสชาติอร่อยเป็นที่นิยมของผู้บริโภค (อาคม และคณะ, 2546) ปลากะรังเสือ ขนาด 1-2 กิโลกรัม ราคา กิโลกรัมละ 500-600 บาท ในขณะที่ปลากะรังดอกแดงหรือดอกดำ ราคา กิโลกรัมละ 400-450 บาท (ราคาที่ชาวประมงขายได้ในปี 2554) ส่วนในตลาดฮ่องกงปลากะรังเสือขนาด 1-2 กิโลกรัม ราคา กิโลกรัมละ 1,086 บาท ส่วนปลากะรังดอกแดงหรือดอกดำ ราคา กิโลกรัมละ 657 บาท (<http://www.fmo.org.hk>) ด้วยเหตุนี้เกษตรกรจึงสนใจและนิยมเลี้ยงปลาชนิดนี้เพิ่มมากขึ้น

เกษตรกรในหลายพื้นที่นิยมเลี้ยงปลากะรังเสือโดยใช้อาหารสด ได้แก่ ปลาเป็ด ซึ่งอาหารดังกล่าวมีคุณค่าทางโภชนาการไม่ครบถ้วนต่อความต้องการของสัตว์น้ำ (จูอะดี, 2530) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันปลาเป็ดเริ่มมีปริมาณลดลงอันเนื่องมาจากการจับสัตว์น้ำมาใช้ประโยชน์ที่ไม่สมดุลย์ จับสัตว์น้ำอย่างขาดความรับผิดชอบ และขาดการจัดการที่ดี นอกจากนี้การขนส่งและการเก็บรักษาปลาเป็ดยังประสบปัญหาเนื่องจากสถานที่เลี้ยงกับแหล่งปลาเป็ดค่อนข้างอยู่ห่างไกลกัน จึงทำให้คุณค่าทางโภชนาการของปลาเป็ดลดลงและทำให้ปลาเป็ดเกิดการเน่าเสีย และส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ถ้าไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอ และผลที่ตามมาคือทำให้ปลาเกิดโรค และมีอัตราการตายสูง ดังนั้นหากมีการพัฒนาอาหารสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการอนุบาลและเลี้ยงลูกปลากะรังเสือให้เหมาะสมกับความต้องการของปลาชนิดนี้ ก็จะเป็นการลดต้นทุนด้านอาหาร ง่ายต่อการควบคุมคุณภาพอาหาร ทำให้การเลี้ยงปลากะรังเสือประสบความสำเร็จ และสามารถส่งเสริมการเลี้ยงในเชิงธุรกิจได้ แต่อย่างไรก็ตามในการพัฒนาอาหารสำเร็จรูปมีความจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับสารอาหารที่ปลากะรังเสือต้องการ และสารอาหารสำคัญที่เป็นสารอาหารต้นทุนหลัก คือ โปรตีนและไขมัน

Lovell (1989) กล่าวว่า ระดับความต้องการ โปรตีนและไขมันมีความสำคัญในการสร้างสูตรอาหารปลาแต่ละชนิด เนื่องจากปลาแต่ละชนิดมีความต้องการที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะระดับโปรตีนถือว่ามีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต หากอาหารมีระดับโปรตีนสูงเกินความต้องการของปลา ปลาจะใช้โปรตีนส่วนที่เกินความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตไปเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งเป็นการใช้แหล่งโปรตีนที่มีราคาแพงอย่างไม่คุ้มค่า ทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารสูงขึ้นด้วย (วีรพงษ์, 2536; Hopher, 1988) ส่วนระดับไขมันซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลาเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าอาหารมีระดับไขมันน้อยเกินความต้องการของปลาจะส่งผลให้มีการนำโปรตีนบางส่วนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานที่ขาดหายไป ทำให้โปรตีนส่วนที่เหลือไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของปลา แต่หากอาหารนั้นมีไขมันสูงมากเกินความต้องการของปลา จะมีผลต่อการจำกัดปริมาณการกินอาหารของปลาเป็นผลทำให้ปลาได้รับสารอาหารอื่นไม่เพียงพอ ฉะนั้นอาหารสำเร็จรูปของปลาแต่ละชนิด นอกจากต้องมีสารอาหารที่จำเป็นต่อ

ร่างการอย่างครบถ้วนแล้ว ยังต้องมีปริมาณที่เพียงพออย่างเหมาะสม เพื่อส่งเสริมให้ปลาที่มีสุขภาพแข็งแรง มีการเจริญเติบโตดี และลดต้นทุนด้านอาหาร

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารสำหรับปลากะรังเสือ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการให้เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้ปลาที่มีการเจริญเติบโตดี อัตรารอดตายสูง และมีต้นทุนการผลิตต่ำเพื่อความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์

วัตถุประสงค์

เพื่อทราบระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารสำหรับปลากะรังเสือและกิจกรรมอื่นใหม่ในปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันต่างกัน

วิธีดำเนินการ

1. การวางแผนการทดลอง

ดำเนินการทดลองที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ เดือน ตุลาคม 2553 - มีนาคม 2554 โดยวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (a x b Factorial Experiments in CRD) กำหนดให้อาหารทดลองมีโปรตีน 3 ระดับ (ชุดทดลอง: Treatments) ได้แก่ โปรตีน 40, 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละระดับโปรตีนมีไขมันต่างกัน 2 ระดับ (blocks) คือ 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ระดับละ 3 ซ้ำดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 โปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์

ชุดทดลองที่ 2 โปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์

ชุดทดลองที่ 3 โปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์

ชุดทดลองที่ 4 โปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์

ชุดทดลองที่ 5 โปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์

ชุดทดลองที่ 6 โปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์

2. การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

ปลาทดลอง: ปลากะรังเสือที่ใช้ในการทดลองได้จากการเพาะพันธุ์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ ที่อนุบาลในบ่อคอนกรีต ปริมาตรประมาณ 4,000 ลิตร จำนวน 1,500 ตัว นำลูกพันธุ์ปลาที่ได้รับการฝึกให้กินอาหารเม็ดแห้งสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ และระดับไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์ มาคัดขนาดปลาให้มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 17.66 ± 0.14 กรัม ความยาวประมาณ 9.98 ± 0.10 เซนติเมตร จำนวน 540 ตัว เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

อาหารทดลอง: เตรียมอาหารเม็ดแห้ง โดยใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ให้อาหารแต่ละสูตรมีระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ และไขมันแตกต่างกัน 2 ระดับ ทำการชั่งวัตถุดิบตามองค์ประกอบของอาหารทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 แล้วนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันและเติมน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้เข้ากัน นำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดอาหารผ่านหน้าแวนขนาด 2 มิลลิเมตร จนได้อาหารที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยตู้อบความร้อน (hot air oven) ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำอาหารแห้งมาเกลี่ยให้เล็กและร่อนอาหารผ่านตะแกรงขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร อาหารทั้งหมดใส่ถุงพลาสติกแล้วเก็บเข้าตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตลอดการทดลอง ทำการสุ่มตัวอย่างอาหารทดลองสูตรละ 200 กรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และเยื่อใย ส่วนคาร์โบไฮเดรตหรือไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ (Nitrogen Free Extract , NFE) และพลังงานรวม (Gross Energy , GE) ได้จากการคำนวณจากสูตร (ตารางที่ 1)

$$\text{NFE} = (100 - \% \text{ โปรตีน} - \% \text{ ไขมัน} - \% \text{ เถ้า} - \% \text{ ความชื้น} - \% \text{ เยื่อใย}) \text{ (NRC, 1993)}$$

$$\text{GE (kcal/100g)} = (\% \text{ โปรตีน} \times 5.64) + (\% \text{ ไขมัน} \times 9.44) + (\% \text{ NFE} \times 4.11) \text{ (NRC, 1993)}$$

3. การดำเนินการทดลอง

สุ่มปลากระรังเสื่อลงเลี้ยงในถังพลาสติกกลม ปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 18 ถึง ถึงละ 30 ตัว ที่มีน้ำทะเลความเค็ม 32 ส่วนในพันส่วน ปริมาตร 170 ลิตร ให้อากาศผ่านหัวทราย จำนวน 1 หัว เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตรที่ 1- 6 ให้ปลากินอาหารจนอิ่ม วันละ 2 ครั้ง เวลา 09.00 และ 14.00 นาฬิกา เปลี่ยนถ่ายน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำทั้งหมดในช่วงบ่ายหลังให้อาหารทุกวัน จากนั้นเติมน้ำให้เท่าระดับเดิม ทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

4. การเก็บข้อมูล

4.1 การบันทึกข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลโดยชั่งน้ำหนักปลาทุกตัวเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง และในระหว่างการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลา ทุก 3 สัปดาห์ และนับจำนวนปลาที่ตาย บันทึกปริมาณอาหารที่ปลากินทุกวัน ในแต่ละเช้า และสุ่มเก็บตัวอย่างปลาชุดการทดลองละ 15 ตัวนำไปผ่าเพื่อเก็บตัวอย่างตับ ชั่งน้ำหนักตับ และน้ำหนักตัวปลา นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าดัชนีตับ (hepatosomatic index) และนำตับปลาไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันที่สะสมในตับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่า น้ำหนักเพิ่ม (body weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) อัตรารอดตาย (survival rate) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio) อัตราการกินอาหาร (feeding rate) ประสิทธิภาพโปรตีน (protein efficiency ratio) โปรตีนเพิ่มขึ้นในตัวปลา (apparent protein retention) การสะสมไขมันในตัวปลา

และค่าดัชนีตับ (hepatosomatic index) โดยคำนวณหาค่าต่างๆ ตามวิธีการใน Tacon (1987), Halver (1989) และวิลล (2536) ดังนี้

1. น้ำหนักเพิ่ม (weight gain, WG)

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

2. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR)

$$\text{SGR (%วัน)} = \frac{(\ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}) \times 100}{\text{ระยะเวลาทดลอง (วัน)}}$$

3. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio; FCR)

$$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

4. อัตราการกินอาหาร

$$\text{FI} = \frac{(\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน})}{\text{จำนวนวัน}} / \frac{(\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น} + \text{น้ำหนักปลาสุดท้าย})}{2} \times 100$$

5. ประสิทธิภาพโปรตีน (Protein efficiency ratio; PER)

$$\text{PER} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (เป็ยก)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่กิน (แห่ง)}}$$

6. โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา (Apparent protein retention; ANPR)

$$\text{ANPR} = \frac{(\text{W1} \times \% \text{P1}) - (\text{W0} \times \% \text{P0})}{\text{P}} \times 100$$

W1 = น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)

W0 = น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม)

P = น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)

P1 = ร้อยละโปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

P0 = ร้อยละโปรตีนในตัวปลาเมื่อเริ่มการทดลอง

7. ค่าดัชนีตับ (hepatosomatic index)

$$\text{Hepatosomatic index} = \frac{\text{น้ำหนักตับปลา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวปลา}}$$

8. อัตรารอดตาย

$$\text{อัตราการรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนและไขมันต่างกัน

วัตถุดิบ (กรัม/100 กรัม)	สูตรอาหาร (ระดับโปรตีน/ไขมัน, เปอร์เซ็นต์)					
	40/6	45/6	50/6	40/12	45/12	50/12
ปลาป่น	25.00	34.00	42.00	25.00	34.00	42.00
หัวกุ้งป่น	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
หิวัดกฐแทน	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
คอนกฐแทน	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
แอลฟาสตาซ	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
แป้งสาลี	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
แป้งข้าวเจ้า	11.00	6.00	0.00	11.00	6.00	0.00
น้ำมันปลา	3.00	2.02	1.14	6.00	5.02	4.14
น้ำมันถั่วเหลือง	1.50	1.50	1.50	3.00	3.00	3.00
วิตามินรวม*1	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
แร่ธาตุรวม*2	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
วิตามินซี (97 เปอร์เซ็นต์)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
โคลีนคลอไรด์ (50 เปอร์เซ็นต์)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
วิตามินอี (50 เปอร์เซ็นต์)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
แคลเซียม	8.73	5.71	4.59	4.23	1.21	0.09
ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในอาหารทดลองแต่ละสูตร (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)						
โปรตีน	39.61	45.07	50.26	39.11	44.91	50.23
ไขมัน	6.32	5.87	6.56	11.96	11.30	12.23
ใยอาหาร	6.17	5.13	4.73	4.53	2.78	2.61
เถ้า	15.18	16.39	17.96	13.87	15.26	16.56
NFE	36.89	30.80	23.55	33.26	26.52	20.75
GE (kcal/100 กรัมอาหาร)	434.68	436.25	421.19	470.19	468.98	474.61

*1 วิตามินรวม (กรัม/1000 กรัม) ประกอบด้วย วิตามินเอ 0.15 กรัม (440,000 IU) วิตามินดี 0.0025 กรัม (100,000 IU) วิตามินเค 2.00 กรัม วิตามินบี 1 2.50 กรัม วิตามินบี 2 10.00 กรัม ไนอะซิน 37.5 กรัม กรดแพนโทนิค 25.00 กรัม วิตามินบี 6 2.50 กรัม วิตามินบี 12 0.005 กรัม กรดโฟลิก 0.75 กรัม ไบโอติน 0.25 กรัม อินโนซิทอล 100 กรัม เดิมสี่จอนครบ 1000 กรัม

*2 แร่ธาตุรวม (กรัม/1000 กรัม) ประกอบด้วย โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 73.47 กรัม แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 19.07 กรัม โปรตัสเซียมคลอไรด์ (KCl) 68.25 กรัม ไคแคลเซียมฟอสเฟต (CaHPO₄·2H₂O) 283.00 กรัม เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO₄) 21.60 กรัม แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) 146.36 กรัม โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 0.14925 กรัม คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) 0.16 กรัม แมงกานีสซัลเฟต (MgSO₄) 0.796 กรัม โคบอลต์ซัลเฟต (CoSO₄) 1.186 กรัม ซิงค์ซัลเฟต (ZnSO₄) 2.985 กรัม เดิมสี่จอนครบ 1000 กรัม

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate composition) ในตัวปลา (whole body) เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองโดยวิเคราะห์โปรตีนด้วยเครื่อง Truspec CN carbon/nitrogen determinator (Leco Corporation) ไขมันวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TFE 2000 fat extractor (Leco Corporation) ปริมาณเถ้า ใช้เตาเผาที่ยี่ห้อ Carbolite CWF HOOD และความชื้น วิเคราะห์ตามวิธีที่แนะนำโดย AOAC (2005)

4.3 ศึกษากิจกรรมเอนไซม์ในปลากะรังเสือ

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เก็บตัวอย่างตับและทางเดินอาหารของปลากะรังเสือเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนรวมตามวิธีของ Lowry *et al.* (1951) วิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส ตามวิธีของ Vega-Villasante *et al.* (1999) เอนไซม์ไลเปสตามวิธีของ Markweg *et al.* (1995) และเอนไซม์อะไมเลส ตามวิธีของ Bernfield (1951) อ้างโดย จูอะดี และพัชรี (2553) โดยค่ากิจกรรมเอนไซม์ 1 หน่วย มีความหมาย ดังนี้

ไลเปส (1 หน่วย) หมายความว่า ความสามารถในการปลดปล่อย nitrophenol 1 มิลลิโมล ในเวลา 1 นาที เมื่อมีเอนไซม์ 1 มิลลิกรัมโปรตีน

อะไมเลส (1 หน่วย) หมายความว่า ความสามารถของเอนไซม์ที่ปลดปล่อย maltose 1 ไมโครโมลในเวลา 1 นาที เมื่อมีเอนไซม์ 1 มิลลิกรัมโปรตีน

โปรติเอส (1 หน่วย) หมายความว่า ค่าการดูดกลืนแสงในเวลา 1 ชั่วโมงเมื่อมีเนื้อเอนไซม์ 1 มิลลิกรัมโปรตีน

5. คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละถังทดลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เวลาประมาณ 09.00 นาฬิกา ตลอดการทดลองโดยตรวจวัดคุณภาพน้ำ ดังนี้ ความเป็นกรด-ด่างด้วยวิธี Electrometric method ด้วยเครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง แบบตัวเลขยี่ห้อ Schott Instrument รุ่น Lab 850 ความเป็นด่างด้วยวิธี Potentiometric titration to pre-selected pH และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยวิธี Azide modification (APHA, AWWA and WPCF, 1980) ความเค็มโดยใช้เครื่องมือวัดความเค็มแบบหักเหแสง (Refracto-salino meter) ยี่ห้อ ATAGO วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวมด้วยวิธี Modified indophenol blue method (Sasaki and Sawada, 1980) และวัดปริมาณไนไตรท์ด้วยวิธีของ Diazotization method (Strickland and Parson, 1972) ใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV-1601 ยี่ห้อ Shimadzu

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบผลของอิทธิพลหลัก คือระดับโปรตีนและระดับไขมันในอาหาร และอิทธิพลร่วมจากอิทธิพลหลักทั้งสองโดยใช้ Two-way ANOVA จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้โปรแกรม SPSS version 11.0 (กัลยา, 2546)

ผลการศึกษา

1. การเจริญเติบโต

1.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะรังเสือ

ผลการทดลองพบว่า มีอิทธิพลร่วม (interaction) ของระดับโปรตีนและไขมันต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะรังเสือ ($p < 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระดับของโปรตีนที่ต่างกัน สูตรอาหารที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะรังเสือมากกว่าอาหารที่มีโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระดับไขมันที่ต่างกัน อาหารที่มีระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะรังเสือมากกว่าอาหารสูตรที่มีไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนที่ระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่มีระดับไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักต่อตัวของปลากะรังเสือไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2)

1.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

ผลการทดลองพบว่า มีอิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและไขมันต่อน้ำหนักของปลากะรังเสือที่เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกัน อาหารสูตรที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักปลากะรังเสือที่เพิ่มขึ้นมากกว่าอาหารที่มีโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกัน อาหารที่มีระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลากะรังเสือมากกว่าอาหารสูตรที่มีระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนที่ระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่มีระดับไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลากะรังเสือไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2)

1.3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

ผลการทดลองพบว่า มีอิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและไขมันต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ($p < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะรังเสือมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอาหารสูตรที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าอาหารที่มีโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกันอาหารที่มีสูตรไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าที่ระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีนเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนที่ระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่มีระดับไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของปลากะรังสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้น	น้ำหนักสุดท้าย	น้ำหนักเพิ่ม	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ
40/6	17.65±0.24 ^a	52.57±3.62 ^b	34.91±3.44 ^b	1.29±0.07 ^b
45/6	17.74±0.06 ^a	69.68±5.04 ^d	51.94±5.14 ^d	1.62±0.09 ^d
50/6	17.65±0.19 ^a	79.42±2.65 ^E	61.72±2.72 ^E	1.79±0.04 ^E
40/12	17.63±0.10 ^a	45.46±0.48 ^a	27.83±0.56 ^a	1.12±0.02 ^a
45/12	17.55±0.20 ^a	57.86±3.36 ^c	42.63±2.03 ^c	1.46±0.03 ^c
50/12	17.66±0.11 ^a	79.26±1.54 ^E	61.59±1.46 ^E	1.78±0.20 ^E
Two-way analysis of variance				
โปรตีน	-	0.000 (s)	0.000 (s)	0.000 (s)
ไขมัน	-	0.002 (s)	0.002 (s)	0.001 (s)
โปรตีน x ไขมัน	-	0.026 (s)	0.048 (s)	0.034 (s)

ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

s = significant มีอิทธิพล ($p < 0.05$)

2. อัตรารอดตาย

ผลการทดลองพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและไขมันต่ออัตราการรอดตายของปลากะรังสี ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกัน พบว่าอัตราการรอดตายของปลากะรังสีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการรอดตายสูงกว่าอาหารที่มีโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกันอาหารสูตรที่มีระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการรอดตายต่ำกว่าอาหารสูตรที่มีระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนที่ระดับโปรตีน 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3)

3. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

ผลการทดลองพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและไขมันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากะรังสี เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกัน พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอาหารที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ

กว่าอาหารที่มีโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบใน ระดับของไขมันที่ต่างกัน พบว่าอาหารสูตรที่มีไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่ แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับอาหารสูตรที่มีไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีนเดียวกัน (ตารางที่ 3)

4. อัตราการกินอาหาร

ผลการทดลองพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับ โปรตีนและไขมันต่ออัตราการกินอาหารของ ปลากระรังเสื่อ ($p > 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าในระดับของโปรตีนที่ต่างกัน อัตราการกินอาหารของ ปลากระรังเสื่อของอาหารสูตรที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่มีโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ไม่ แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกัน พบว่าอาหารที่มีระดับ โปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ อัตราการกินอาหารของปลากระรังเสื่อมากกว่า ที่ระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ที่ระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ ไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ อัตราการกินอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 อัตรารอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการกินอาหารของปลากระรังเสื่อที่เลี้ยง ด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นเนื้อ	อัตราการกินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/วัน)
40/6	88.89±3.84 ^a	1.81±0.05 ^c	1.66±0.02 ^a
45/6	96.66±3.33 ^{bc}	1.45±0.04 ^b	1.68±0.08 ^a
50/6	100.00±0.00 ^c	1.29±0.02 ^a	1.62±0.02 ^a
40/12	94.44±1.92 ^b	1.83±0.09 ^c	1.59±0.11 ^a
45/12	98.89±1.92 ^c	1.49±0.02 ^b	1.67±0.11 ^a
50/12	100.00±0.00 ^c	1.28±0.02 ^a	1.62±0.02 ^a
Two-way analysis of variance			
โปรตีน	0.000 (s)	0.000 (s)	0.373 (ns)
ไขมัน	0.038 (s)	0.427 (ns)	0.523 (ns)
โปรตีน x ไขมัน	0.164 (ns)	0.644 (ns)	0.725 (ns)

ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

s = significant มีอิทธิพล ($p < 0.05$)

ns = not significant ไม่มีอิทธิพล ($p > 0.05$)

5. ประสิทธิภาพโปรตีน

ผลการทดลองพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและไขมันต่อประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารของปลากะรังเสือ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกัน พบว่าอาหารสูตรที่มีโปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพของโปรตีนสูงกว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกับอาหารสูตรที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนอาหารสูตรที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพของโปรตีนสูงกว่าอาหารสูตรที่มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกัน อาหารสูตรที่มีไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพโปรตีน แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับอาหารสูตรที่มีไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีนเดียวกัน (ตารางที่ 4)

6. โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา

ผลการทดลองพบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่าง โปรตีนและไขมันต่อโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา ($p<0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกันพบว่าอาหารทุกระดับโปรตีนมีโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกัน อาหารสูตรที่มีไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพโปรตีน แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับอาหารสูตรที่มีไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีนเดียวกัน (ตารางที่ 4)

7. ค่าดัชนีตัว

ผลการทดลองพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและไขมันต่อค่าดัชนีตัวของปลากะรังเสือ ($p<0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกัน อาหารสูตรที่มีโปรตีน 40, 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าดัชนีตัว ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกัน อาหารสูตรที่มีไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มีค่าดัชนีตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ที่ระดับโปรตีนเดียวกัน (ตารางที่ 4)

8. ไขมันที่สะสมในตัว

เมื่อเปรียบเทียบในระดับของโปรตีนที่ต่างกันอาหารที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มการสะสมของไขมันในตัวมากกว่าอาหารที่มีโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบในระดับของไขมันที่ต่างกัน อาหารสูตรที่มีไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันสะสมในตัวปลามากกว่าอาหารสูตรที่มีไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นอาหารที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าเมื่อให้ไขมันสะสมในตัวปลามากกว่าอาหารที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพโปรตีน โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในต้นกล้า คัดชนิด ไขมันที่สะสมในต้นของปลากะรังสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (เปอร์เซ็นต์)

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพ โปรตีน	โปรตีนที่เพิ่มขึ้น ในต้นกล้า	คัดชนิด	ไขมันที่สะสม ในต้น
40/6	1.40±0.01 ^a	28.60±0.98 ^a	2.04±0.54 ^a	14.23
45/6	1.54±0.09 ^b	28.95±1.74 ^a	2.16±0.22 ^a	16.46
50/6	1.52±0.04 ^b	28.41±0.74 ^a	1.69±0.85 ^a	16.62
40/12	1.44±0.06 ^{ab}	28.11±2.15 ^a	1.85±2.51 ^a	16.67
45/12	1.56±0.08 ^b	27.79±1.00 ^a	2.15±0.27 ^a	17.25
50/12	1.52±0.03 ^b	29.80±0.94 ^a	1.60±0.39 ^a	15.21
Two-way analysis of variance				
โปรตีน	0.154 (ns)	0.175 (ns)	0.051 (ns)	-
ไขมัน	0.323 (ns)	0.382 (ns)	0.0524 (ns)	-
โปรตีน x ไขมัน	0.519 (ns)	0.010 (s)	0.882 (ns)	-

ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

s = significant มีอิทธิพล ($p < 0.05$) ns = not significant ไม่มีอิทธิพล ($p > 0.05$)

9. องค์ประกอบทางเคมีในต้นกล้า

องค์ประกอบทางเคมีของต้นกล้าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าในทุกระดับโปรตีน ค่าโปรตีนในองค์ประกอบต้นกล้ามีค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับปลาก่อนการทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระดับไขมันในอาหาร 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโปรตีนในต้นกล้ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น และระดับไขมันในอาหารที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ระดับไขมันในต้นกล้ามีปริมาณสูงขึ้นด้วยที่ระดับโปรตีนเดียวกันในอาหาร นอกจากนี้ไขมันในต้นกล้าหลังสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปลาก่อนการทดลอง และพบว่าเมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้นที่ระดับไขมันเดียวกันในอาหารมีผลให้ปริมาณไขมันในต้นกล้าลดลง ส่วนค่าเถ้าในต้นกล้าหลังสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงจากปลาก่อนการทดลอง ทั้งนี้ค่าเถ้าในต้นกล้ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น ที่ระดับโปรตีนเดียวกัน (ตารางที่ 5)

10. กิจกรรมเอนไซม์ในปลากะรังสี

กิจกรรมเอนไซม์ในต้นและในทางเดินอาหาร แสดงไว้ในตารางที่ 6 พบว่า กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสในต้น มีค่าอยู่ในช่วง 0.0430-0.0603 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ และไม่แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์กับระดับโปรตีนหรือไขมันในอาหาร ส่วนกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสในทางเดินอาหาร มีค่า

อยู่ในช่วง 0.1440-0.2966 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น แต่ไม่แสดงความสัมพันธ์กับระดับไขมันในอาหาร

กิจกรรมเอ็นไซม์ไลเปสในตับ มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.0004-0.0006 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ และในทางเดินอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 0.0006-0.0008 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ ซึ่งค่ากิจกรรมเอ็นไซม์ไลเปสไม่แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์กับระดับโปรตีนหรือไขมันในอาหารทั้งในตับและทางเดินอาหาร

ส่วนกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสในตับ มีค่าอยู่ในช่วง 0.1394-0.2029 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ และในทางเดินอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 0.1564-0.1896 หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที่ เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับโปรตีนต่างกัน พบว่าเมื่อระดับโปรตีนลดลงโดยที่ระดับคาร์โบไฮเดรตหรือไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ในอาหารเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่ากิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสในตับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีในปลากระรังเสื่อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

ชุดการทดลอง	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
ปลาเริ่มต้น	62.89	16.12	14.00
40/6	63.96	22.34	12.78
45/6	62.69	20.69	14.53
50/6	63.67	19.38	12.64
40/12	59.47	29.73	10.33
45/12	61.60	21.49	13.09
50/12	60.67	21.85	13.19

11. คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง มีค่าดังนี้ ปริมาณออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 6.17 ± 0.02 - 6.58 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.72 ± 0.01 - 7.78 ± 0.01 ความเค็มมีค่าเฉลี่ย 32.20 ± 0.73 ส่วนในพัน อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย 27.00 ± 0.00 องศาเซลเซียส ความเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 123.76 ± 1.41 - 129.23 ± 1.55 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.7078 ± 0.0280 - 1.7325 ± 0.0070 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนโตรที่ มีค่าอยู่ในช่วง 0.0173 ± 0.0011 - 0.0444 ± 0.0046 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 กิจกรรมเอ็นไซม์ในปลากระรังเสื่อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน และไขมันแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน/นาที)

ชุดการทดลอง	โปรตีนรวม ในตับ (มก.โปรตีน/มล.)	โปรตีนรวม ในทางเดินอาหาร (มก.โปรตีน/มล.)	กิจกรรมเอ็นไซม์ (หน่วย / มิลลิกรัมโปรตีน / นาที)					
			อะไมเลสในตับ	อะไมเลสใน ทางเดินอาหาร	ไลเปสในตับ	ไลเปสใน ทางเดินอาหาร	โปรติเอสในตับ	โปรติเอสใน ทางเดินอาหาร
40/6	20.4793±2.3049	15.7533±0.4583	0.2029±0.0002	0.1896 ±0.0000	0.0006±0.0001	0.0008±0.0000	0.0539±0.0000	0.1666 ±0.0002
45/6	20.5066± 1.4057	16.6163 ±1.2332	0.1640±0.0002	0.1564±0.0001	0.0006±0.0001	0.0006±0.0000	0.0573±0.0001	0.2164±0.0001
50/6	26.4520±0.1037	15.9866 ±0.5341	0.1394±0.0001	0.1685±0.0001	0.0004±0.0000	0.0008±0.0000	0.0430±0.0002	0.2360±0.0002
40/12	19.4650±0.7689	14.9176± 0.7702	0.1759 ±0.0002	0.1582±0.0002	0.0006±0.0001	0.0006±0.0000	0.0603±0.0001	0. 1440±0.0002
45/12	21.8220±0.7690	16.4383± 0.5376	0.1557±0.0001	0.1764±0.0001	0.0006±0.0001	0.0007±0.0000	0.0522±0.0002	0.1889±0.0000
50/12	24.9040± 0.0504	15.9450±0.1787	0.1640±0.0002	0.1673±0.0001	0.0006±0.0000	0.0008±0.0000	0.0586 ±0.0001	0.2966±0.0001

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำในถังทดลองปลากระรังสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนและไขมันแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ออกซิเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเป็นกรด-ด่าง	ความเค็ม (ส่วนในพัน)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเป็นด่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)	แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนไตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
40/6	6.58±0.01	7.77±0.23	32.20±0.73	27.00±0.00	125.20±1.90	0.8003±0.0098	0.0180±0.0063
45/6	6.55±0.13	7.78±0.00	32.20±0.73	27.00±0.00	123.77±1.41	0.7078±0.0280	0.0173±0.0011
50/6	6.49±0.38	7.78±0.01	32.20±0.73	27.00±0.00	126.10±2.38	1.1711±0.0022	0.0175±0.0038
40/12	6.13±0.01	7.72±0.02	32.20±0.73	27.00±0.00	123.76±1.41	0.8978±0.0092	0.0209±0.0035
45/12	6.47±0.15	7.77±0.01	32.20±0.73	27.00±0.00	125.63±1.50	1.4975±0.1043	0.0444±0.0046
50/12	6.17±0.02	7.73±0.17	32.20±0.73	27.00±0.00	129.23±1.55	1.7325±0.0070	0.0308±0.0129

สรุปและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมในอาหารสำหรับปลากะรังเสือ พบว่าปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ต่ำกว่าปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ บุญชู และคณะ (2530) ศึกษาการเลี้ยงปลากะรังคอกแดง (*Epinephelus coioides*) ขนาด 4 นิ้ว พบว่าระดับโปรตีนในอาหาร 50 เปอร์เซ็นต์ ให้การเจริญเติบโตดีที่สุด ส่วนในปลากะรังจุดสีน้ำตาล (*Epinephelus tauvina*) น้ำหนักเฉลี่ย 0.90 กรัม พบว่ามีการเจริญเติบโตดีเมื่อได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 45-55 เปอร์เซ็นต์ (ธีรยุทธ และถนอม, 2530) เช่นเดียวกับในปลากะพงแดง ระดับโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต คือ 45-55 เปอร์เซ็นต์ (จูอะดิ และคณะ 2545; Watanabe, 1988) ส่วน Wilson and Halver (1986) และ Teng *et. al* (1978) อ้างตาม อัครา (2547) รายงานว่า ปลากะรังชนิด *Epinephelus salmoides* ต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนเพียง 40-50 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Laining *et al.* (2004) ศึกษาการเลี้ยงปลากะรังเสือ ขนาด 80-300 กรัม พบว่าระดับโปรตีนในอาหาร 51 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลากะรังเสือ ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ อาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำ (40 และ 45 เปอร์เซ็นต์) แม้จะเพิ่มระดับไขมันจาก 6 เป็น 12 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน แสดงว่าปลากะรังเสือต้องการโปรตีนค่อนข้างสูง และอาหารที่ระดับโปรตีน 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ อาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตสำหรับปลากะรังเสือ ดังที่ McGoogan and Gatlin (2000) กล่าวว่า เมื่อพลังงานในอาหารสูงขึ้นสัตว์น้ำจะกินอาหารลดลง เพราะได้รับพลังงานในปริมาณที่เพียงพอแล้ว ซึ่งหากอาหารที่สัตว์น้ำได้รับมีปริมาณโปรตีนต่ำ ก็จะส่งผลให้สัตว์น้ำได้รับโปรตีนไม่เพียงพอกับความต้องการ หรือในกรณีสัตว์น้ำไม่สามารถกินอาหารได้มากตามความต้องการของร่างกายเพราะขีดจำกัดด้านกายภาพ เช่น ความจุของกระเพาะอาหาร แม้ว่าสัตว์น้ำบางชนิดสามารถขยายขนาดของกระเพาะอาหารได้ แต่ถ้าปริมาณอาหารมาก สัตว์น้ำต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการย่อยอาหารที่มีสารอาหารต่ำทำให้เหลือพลังงานสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตลดลง ดังนั้นจึงควรเพิ่มระดับโปรตีนควบคู่ไปกับการเพิ่มระดับพลังงานเพื่อให้สัตว์น้ำได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอแม้จะกินอาหารลดลง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้เมื่อเพิ่มระดับโปรตีนให้สูงขึ้นกว่า 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น

ระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้นไปมีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากะรังเสือดีขึ้น โดยอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากะรังเสือที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนระดับ 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อาจไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในปลากินเนื้อชนิดอื่นๆ ธีรยุทธ และถนอม (2530) พบว่าปลากะรังจุดสีน้ำตาลที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเนื้อดีที่สุดเท่ากับ 1.44 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ วิเชียร และคณะ

(2532) ที่พบว่าปลากะพงขาวมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.42 เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 54 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ จูอะดี และคณะ (2545) รายงานผลการเลี้ยงปลากะพงแดงด้วยอาหารเม็ดพบว่าที่ระดับโปรตีน 52 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลากะพงแดงมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด อัตรารอดสูง และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุด เท่ากับ 1.32 สำหรับการเพิ่มระดับไขมันในอาหารพบว่าไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

อัตราการกินอาหารของปลากะรังเสือในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าระดับโปรตีนและไขมันในอาหารที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลทำให้อัตราการกินอาหารลดลง โดยอัตราการกินอาหารของปลากะรังเสือในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าพลังงานในอาหารยังอยู่ในระดับไม่สูงเกินที่จะส่งผลให้การกินอาหารลดลง อีกทั้งค่าประสิทธิภาพโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น กล่าวคือค่าประสิทธิภาพโปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับโปรตีน 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าอาหารที่ระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ แม้ไม่พบความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพโปรตีนระหว่างอาหารที่ระดับโปรตีน 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น มีการนำโปรตีนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต แทนการนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน อีกทั้งค่าโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลาไม่มีความแตกต่างกัน เป็นการสนับสนุนว่าปลาชนิดนี้มีความต้องการ โปรตีนในระดับค่อนข้างสูง นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของระดับไขมันในอาหารไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของโปรตีนและค่าโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลาแตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่ อตรา (2547) ศึกษาในปลากะรังดอกแดงซึ่งพบว่าโปรตีนและไขมันสะสมในตัวปลามีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามมีรายงานการทดลองในปลาคูกกลมผสม (Jantrarotai *et al.*, 1996) และในปลาคูกแอฟริกัน (Machiels and Henken, 1985; Degani *et al.*, 1989) ที่พบว่าประสิทธิภาพโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น

ในการทดลองครั้งนี้ยังพบว่าเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นที่ระดับโปรตีนเดียวกัน ไม่มีผลช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มไขมันในอาหารไม่มีผลช่วยส่งเสริมให้การใช้โปรตีนลดลง (protein sparing effect) สอดคล้องกับผลการศึกษาในลูกปลากะพงแดง (*Pagrus pagrus*) โดย Schuchardt *et al.* (2008) ซึ่งพบว่า การเจริญเติบโตของลูกปลาลดลงเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นที่ระดับโปรตีนเดียวกัน อย่างไรก็ตามมีรายงานการศึกษาในปลาหลายชนิด (Tibaldi *et al.* 1996; Skalli *et al.* 2004; Vergara *et al.* 1996; Company *et al.* 1999; Santinha *et al.* 1999; Lupatsch *et al.* 2001) ที่พบว่า การเพิ่มระดับไขมันในอาหารจะสามารถช่วยลดระดับโปรตีนในอาหารลงได้โดยไม่ทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำลดลง (protein sparing effect)

ค่าดัชนีตับ (hepatosomatic index) ช่วยบ่งชี้ถึงสุขภาพปลาและการสะสมอาหารของปลา ซึ่งการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันมีผลทำให้การสะสมไขมันในตับมีค่าใกล้เคียงกัน (รุ่งกานต์ และคณะ, 2546) จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าค่าดัชนีตับของปลากะรังเสือไม่แตกต่างกัน และไม่แสดงความสัมพันธ์กับระดับโปรตีนหรือไขมันในอาหาร แม้จะมีรายงานว่าดัชนีตับในปลาหมอลดลงตามระดับไขมันในอาหารที่เพิ่มขึ้น (दारवारณ และคณะ, 2549) หรือดัชนีตับมีค่าเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (Cek *et al.*, 2001) ส่วนค่า

ไขมันสะสมในตับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น และค่าไขมันสะสมในตับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกันเมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยกเว้นอาหารโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาซึ่งพบว่า โปรตีนในตัวปลามีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น และเมื่อระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้นจาก 6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 12 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ระดับไขมันในตัวปลามีปริมาณสูงขึ้นด้วยที่ระดับโปรตีนเดียวกัน และเมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้นที่ระดับไขมันเดียวกัน ส่งผลให้มีการสะสมไขมันในตัวปลาลดลง หรือในทางตรงกันข้ามเมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลง มีผลให้การสะสมไขมันในตัวปลาเพิ่มขึ้น บ่งชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนของระดับโปรตีนและไขมัน(หรือพลังงาน)ในอาหาร มีผลต่อระดับโปรตีนและไขมันที่สะสมในตัวปลา สอดคล้องกับการทดลองของ Reis *et al.* (1989) ที่พบว่าปลา *channel catfish* ซึ่งได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนต่อพลังงาน ที่ 91 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลแคลอรี มีการสะสมไขมันในตัวปลาสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนต่อพลังงานที่ 120 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลแคลอรี ($p < 0.05$) ในทำนองเดียวกับการทดลองในปลา Brown trout (Poston, 1975) และการทดลองของในปลา *channel catfish* (Garling and Wilson, 1976) ที่พบว่าเมื่อพลังงานในอาหารเพิ่มขึ้นจะมีการสะสมไขมันในตัวปลาเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษากิจกรรมเอ็นไซม์ในปลากระรังสี ซึ่งพบว่ากิจกรรมเอ็นไซม์โปรติเอสในทางเดินอาหารของปลากระรังสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าปลากระรังสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาในปลาเรนโบว์เทราท์ที่พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์โปรติเอสมีความสัมพันธ์กับระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้น (Kawai and Ikeda, 1972 อ้างตาม Steffens, 1989) นอกจากนี้ผู้ศูดาวรรณ และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษากิจกรรมของเอ็นไซม์โปรติเอส ไลเปส และอะไมเลสในทางเดินอาหารปลาช่อนพบว่ากิจกรรมเอ็นไซม์โปรติเอสสูงที่สุดรองลงมาคือกิจกรรมเอ็นไซม์ไลเปส และอะไมเลส ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปลาช่อนเป็นปลากินเนื้อเป็นอาหาร (carnivorous) และในส่วนของประกอบอาหารปลาช่อนซึ่งมีระดับโปรตีนค่อนข้างสูงในขณะที่ส่วนประกอบของไขมันและคาร์โบไฮเดรตมีอยู่น้อย ทำให้พบกิจกรรมของเอ็นไซม์โปรติเอสสูงกว่ากิจกรรมของเอ็นไซม์อะไมเลส และไลเปส เช่นเดียวกับการศึกษาในปลากระรังสีในครั้งนี้

สำหรับกิจกรรมเอ็นไซม์อะไมเลส ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลง โดยที่ระดับคาร์โบไฮเดรตหรือในโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ในอาหารเพิ่มขึ้น กล่าวคือกิจกรรมเอ็นไซม์อะไมเลสในระดับโปรตีนในอาหาร 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าที่ระดับโปรตีน 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพเอ็นไซม์อะไมเลสในลำไส้ปลาคาร์ฟ (Kawai and Ikeda, 1972 อ้างตาม Steffens, 1989) ที่พบว่าองค์ประกอบของอาหารมีผลต่อการทำงานของเอ็นไซม์อะไมเลส กล่าวคือเมื่อระดับปลาป่นในอาหารลดลงโดยที่ระดับแป้งในอาหารเพิ่มขึ้นส่งผลให้การทำงานของเอ็นไซม์อะไมเลสมีประสิทธิภาพสูงขึ้นในช่วงเวลาไม่เกิน 7 วัน หลังจากนั้นปลาจะปรับระดับกิจกรรมเอ็นไซม์อะไมเลสให้คงที่

ด้านคุณภาพน้ำ พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นด่าง อุณหภูมิของน้ำ และไนโตรเจนที่อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์ชายฝั่ง จังหวัดสงขลา, 2537) แต่ปริมาณแอมโมเนียรวม ในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Leung *et al.* (1999) พบว่าปลากระรังที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าจะมีการจับที่ไนโตรเจนที่มากกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำ นอกจากนี้ Joseph *et al.* (1993) ยังพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงจะมีการจับถ่ายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณสารประกอบไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นการจำกัดระดับโปรตีนในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ และการตระหนักถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจะเป็นบทบาทสำคัญของนักวิจัยด้านอาหารสัตว์น้ำตลอดจนนักเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อให้มีการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนต่อไป

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารจาก 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปลากระรังเสียมีการเจริญเติบโตดีขึ้นตามลำดับ ในขณะที่การเพิ่มไขมันในอาหารจาก 6 เป็น 12 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาหารเม็ดแห้งสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับการใช้เลี้ยงปลากระรังเสีย ขนาดประมาณ 17.0-79.0 กรัม.

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 6. ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 536 หน้า.
- จوزهดี พงศ์มณีรัตน์ และ พัชรี ชุ่นสั้น. 2553. การสะสมและการจับที่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของปลากระพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) ที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดแห้งและอาหารปลาสด. วารสารการประมง 63(6): 487-501.
- จوزهดี พงศ์มณีรัตน์, พิษญา ชัยนาค, ทวี จินดามัยกุล และ ชูศักดิ์ บริสุทธิ์. 2545. ระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารสำหรับปลากระพงแดง (*Lutjanus argentimaculatus* Forskal). วารสารการประมง 55(5): 413-421.

- จوزهดี พงศ์มณีรัตน์. 2530. ผลของการเสริมหัวอาหารปริมาณต่างกันลงในเนื้อปลาเปิดเพื่อเลี้ยงลูกปลากะพงขาว. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2530. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา, กรมประมง. 10 หน้า.
- คาราวรรณ ยุทธยงค์, สาวิตรี เพชรตะกั่ว, ไพรัตน์ กอสุธารักษ์ และ จوزهดี พงศ์มณีรัตน์. 2549. ระดับไขมันที่เหมาะสมในปลาหมอ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2549. สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำจืด, กรมประมง. 16 หน้า.
- ธีรยุทธ ถนอมเกียรติ และ ถนอม พิมลจินดา. 2530. การทดลองอนุบาลลูกปลากะรังจุดสีน้ำตาล (*Epinephelus tauvina* Forsks) ด้วยอาหารผสมในระดับโปรตีนต่างๆและเนื้อปลาสด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 26/2530. สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดภูเก็ต, กองประมงน้ำกร่อย, กรมประมง. 26 หน้า.
- บุญชู เจริญฤทธิ์, อดุลย์ แมรเ้าะ, สุขศรี สัมภาวะผล และ ชม อนงค์. 2530. การทดลองเลี้ยงปลากะรังด้วยอาหารผสมระดับโปรตีนต่างๆกันและปลาเปิดในกระชัง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 15/2530. สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดสตูล, กองประมงน้ำกร่อย, กรมประมง. 5 หน้า.
- รุ่งกานต์ กล้าหาญ, อรพินท์ จินตสถาพร, ประทีกย์ ตาบทิพย์วรรณ, ส่งศรี มหาสวัสดิ์ และ ศรีน้อย ชุ่มคำ. 2546. การใช้ใบ เถา และหัวกวาวเครือขาวในอาหารปลานิล. ภาควิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 8 หน้า.
- วิเชียร สาคเรศ, มะลิ บุญยรัตผลิน และ นันทิยา อุ่นประเสริฐ. 2532. ระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในอาหารปลากะพงขาว. สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดระยอง, กองประมงน้ำกร่อย, กรมประมง. 22 หน้า.
- วิมล จันทรโรทัย. 2536. การวางแผนการวิจัยด้านอาหารปลา. วารสารการประมง 46(4): 323-328.
- วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. ภาควิชาวาริชศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 253 หน้า.
- สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา. 2537. คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง: ความรู้เบื้องต้นและวิธีวิเคราะห์. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา, กรมประมง. หน้า 29-33.
- สุดาวรรณ กาญจนวรกุล, อรพิน จินตสถาพร และ ประทีกย์ ตาบทิพย์วรรณ. 2548. การศึกษากิจกรรมเอ็นไซม์ในระบบทางเดินอาหารปลาช่อน (*Channa striata*). ใน: รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 100-107.
- อัครา ไชยมงคล. 2547. ผลของสัดส่วนระหว่างโปรตีนและไขมันในอาหารต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของปลากะรังแดง. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 10 หน้า.

- อาคม สิงหนุญ, ไพบุญย์ บุญลิปตานนท์ และ สามารถ เดชสถิตย์. 2546. พัฒนาการคัพภะและลูกปลาวัยอ่อนของปลาแก้วเสือ *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsk., 1775). ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. 29 หน้า.
- AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Method of Analysis. 8th edition. **In:** Horwitz, W., W. George and Jr. Latimer (eds.). Official Methods of Analysis of AOAC International, Gaithersburg, Maryland. Chapter 39-50. pp.7-14.
- APHA, AWWA and WPCF. 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition. American Public Health Association, Washington, D.C. 1134 pp.
- Bernfeld, P. 1951. Enzymes of starch degradation and synthesis. **In:** Nord, F. F. (ed.). Advances in Enzymology. Vol. 12. Interscience Publications Inc., New York. pp. 379-424.
- Cek, S., N. Bromage, C. Randall and K. Rana. 2001. Oogenesis, hepatosomatic and gonosomatic index, and sex ratio in rosy barb (*Puntius conchoni*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1: 33-41.
- Company, R., J. A. Caldach-giner, J. Perez-sanchez and S. J. Kaushik. 1999. Protein sparing effect of dietary lipids in common dentex (*Dentex dentex*): a comparative study with sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources* 12: 23–30.
- Degani, D., Y. Ben -Zvi and D. Levannon. 1989. The effect of different protein levels and temperature on feed utilization, growth and body composition of *Clarias gariepinus* (Burchll, 1822). *Aquaculture* 76: 293 - 301.
- Garling, D. L. and R. P. Wilson. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for Channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *The Journal of Nutrition*. 106 : 1368 -1375.
- Halver, J. E. 1989. Fish Nutrition. 2nd Academic Press, Inc., San Diego. 798 pp.
- Hepher, B. 1988. Nutrition of Pond Fish. Cambridge University Press, Cambridge. 388 pp.
- http://www.fmo.org.hk/index/lang_en/page_price-sea/
- Jantrarotai, W., P. Sitasit, P. Jantraotai, T. Viputhanumas and P. Srabue. 1996. Protein and energy levels for maximum growth diet utilization, yield edible flesh, and protein sparing of hybrid *Clarias catfish*. Technical Paper No 177. National Inland Fisheries Institute, Department of Fisheries, Bangkok. 16 pp.
- Joseph, K. B., W. S. Richard and E. T. Daniel. 1993. An Introduction to Water Chemistry in Freshwater Aquaculture. NRAC Fact sheet. 170 pp.

- Laining, A., N. Kabangnga and Usman. 2004. Dietary optimum protein for tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) diet reared in floating net cages. In : Rimmer, M. A., S. McBride and K.C. Williams (eds.). *Advances in Grouper Aquaculture*. pp. 95-97.
- Leung, K. M. Y., J. C. W. Chu and R. S. S. Wu. 1999. Interacting effects of water temperature and dietary protein levels on post-prandial ammonia excretion by areolated grouper *Epinephelus areolatus* (Forsk.) *Aquaculture Research* 30: 793-798.
- Lovell, T. 1989. *Nutrition and Feeding of Fish*. Van Nostrand Reinhold, New York. 260 pp.
- Lowry, H. O., N. J. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall. 1951. Protein measurement with Folinphenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193 : 265-275.
- Lupatsch, I., G. W. Kissil, D. Sklan and E. Pfeffer. 2001. Effects of varying dietary protein and energy supply on growth, body composition and protein utilization in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture* 7: 71–80.
- Machiels, M. A. M. and A. M. Henken. 1985. Growth rate, feed utilization and energy metabolism of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchll, 1822), as affect by dietary protein and energy content. *Aquaculture* 44: 271-284.
- Markweg, H. M., S. Lang and F. Wagner. 1995. Dodecanoic acid inhibitor of a lipase form *Acinetobacter* sp. OPA 55. *Enzyme and microbial technology* 17: 512-516.
- McGoogan, B., D. M. Gatlin, 2000. Dietary manipulation affecting growth and nitrogeneous waste production of red drum, *Sciaenop ocellatus*; II. Effects of energy level and nutrient density a various feeding rates. *Aquaculture* 182: 271-285.
- NRC (National Research Council). 1993. *Nutrient Requirement of Fish*. National Academy Press, Washington D.C. 114 pp.
- Poston, A. 1975. Influence of dietary protein and energy on swimming stamina, growth and body composition of brown trout. *Progressive Fish-Culturist* 37(4): 251-261.
- Reis, L. M, E. M. Reutebuch and R. T. Lovell. 1989. Protein-to-energy ratios in production diets and growth, feed conversion and body composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 77: 21-27.
- Santinha, P. J. M., F. Medale, G. Corraze and E. F. S. Gomes. 1999. Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrients utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L). *Aquaculture Nutrition* 5: 147–156.
- Sasaki, K. and Y. Sawada. 1980. Determination of ammonia in estuary. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 46(3): 319-321.

- Schuchardt, D., J. M. Vergara, H. Fernandez-palacios, C. T. Kalinowski, C. M. Hernandez-cruz, M. S. Izquierdo and L. Bobaina. 2008. Effects of different dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of red porgy (*Pagrus pagrus*) fingerlings. *Aquaculture Nutrition* 14: 1–9.
- Skalli, A., M. C. Hidalgo, E. Abellan, M. Arizcun and G. Cardenete. 2004. Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex (*Dentex dentex* L) at different growth stages. *Aquaculture* 235: 1–11.
- Steffens, W. 1989. Principles of Fish Nutrition. Ellis Horwood Limited Publishers Chichester. Halsted press. 384 pp.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin* 167. Ottawa. 310 pp.
- Tacon, A. G. J. 1987. The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp. A Training Manual 1. The Essential Nutrients food and Agriculture Organization of the United Nations, Brazill. 177pp.
- Tibaldi, E., P. Beraldo, L. A. Volpelli, and M. Pinosa. 1996. Growth response of juvenile dentex (*Dentex dentex* L.) to varying protein level and protein to lipid ratio in practical diets. *Aquaculture* 139: 91–99.
- Vega-Villasante, F., I. Fernandez, R. M. Preciado, M. Oliva, D. Tovar and H. Nolasco. 1999. The activity of digestive enzymes during the molting stages of the arched swimming *Callinectes arcuatus* Ordway, 1863. (Crustacea: Decapoda: Portunidae). *Bulletin of Marine Science* 65(1): 1-9.
- Vergara, J. M., L. Robaina, M. Izquierdo and M. De La Higuera. 1996. Protein sparing effect of lipids in diets for fingerlings of gilthead sea bream. *Fisheries Science* 62: 624–628.
- Watanabe, T. 1988. Nutrition and Mariculture. The General Aquaculture Course. Kanagawa International Fisheries Training Center. Japan Internation Cooperation Agency (JICA) 233 p.