

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๙ /๒๕๕๗



Technical Paper No. 9/2014

ผลการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งในอาหารสำเร็จรูปต่อการเจริญเติบโต
ของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790)

Shrimp Waste Protein Hydrolysate Utilization in Completed Feed for
Growth of Asian Seabass (*Lates calcarifer* Bloch, 1790)

จิรรัตน์ เกื้อแก้ว
อัครา ไชยมงคล
กมลรัตน์ ยงเจริญ

Jeerarat Kuakaew
Atra Chaimongkol
Kamonrat Yongjarean

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง
กรมประมง
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

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

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๙/๒๕๕๗



Technical Paper No. 9/2014

ผลการใช้โปรตีนไฮโดรไลสได้จากเศษทิ้งกุ้งในอาหารสำเร็จรูปต่อการเจริญเติบโต
ของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790)

Shrimp Waste Protein Hydrolysate Utilization in Completed Feed for
Growth of Asian Seabass (*Lates calcarifer* Bloch, 1790)

จิรรัตน์ เกื้อแก้ว
อัครา ไชยมงคล
กมลรัตน์ ยงเจริญ

Jeerarat Kuakaew
Atra Chaimongkol
Kamonrat Yongjarean

สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง
สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง
กรมประมง
๒๕๕๗

Coastal Aquatic Feed Research Institute
Coastal Fisheries Research and Development Bureau
Department of Fisheries
2014

รหัสทะเบียนวิจัย 54-0313-54035

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	3
วิธีดำเนินการ	4
1. การวางแผนการทดลอง	4
2. ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
2.1 การเตรียมระบบถังทดลอง	4
2.2 การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งด้วยน้ำสับปะรด	5
การทดลองที่ 1 การผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วยเทคนิคแบบ FD	
การทดลองที่ 2 การผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยเทคนิคแบบ SD	
2.3 การเตรียมอาหารทดลอง	6
3. สัตว์ทดลองและการดำเนินการทดลอง	12
4. การบันทึกผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	12
ผลการศึกษา	13
1. การเจริญเติบโตจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ FD และ SD เพื่อทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาว	13
1.1 การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวในการทดลองที่ 1 (FD)	13
1.2 การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวในการทดลองที่ 2 (SD)	14
2. องค์ประกอบทางเคมีในปลาทดลองทั้งตัวจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD และ SD เพื่อทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาว	16
2.1 องค์ประกอบทางเคมีในปลาทดลองทั้งตัวจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD	16
2.2 องค์ประกอบทางเคมีในปลาทดลองทั้งตัวจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD	17
3. คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง	17
วิจารณ์ผล	18
สรุป	21
ข้อเสนอแนะ	21
กิตติกรรมประกาศ	22
เอกสารอ้างอิง	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	24
1 การใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ SD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ ระดับ 20% ในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาวจากการทดลองที่ 1 (เพิ่มเติม)	24
2 ต้นทุนวัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ SD	25

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีในอาหารทั้ง 4 สูตร ในการทดลองที่ 1	9
2	ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีในอาหารทั้ง 4 สูตร ในการทดลองที่ 2	10
3	เปรียบเทียบชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ FD และ SD	11
4	การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวเลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (FD) 4 สูตร นาน 6 สัปดาห์	14
5	การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวันและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวเลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (SD) 4 สูตร นาน 8 สัปดาห์	15
6	องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักแห้ง) ในปลากะพงขาวทั้งตัวก่อนและหลังการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (FD) 4 สูตร นาน 6 สัปดาห์	16
7	องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักแห้ง) ในปลากะพงขาวทั้งตัวก่อนและหลังการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (SD) 4 สูตร นาน 8 สัปดาห์	17
8	คุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดทั้งจุดน้ำเข้าและออกของระบบถึงทดลอง	18
ตารางผนวกที่		
1	ผลการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวในสูตรอาหารเพิ่มเติม (20% SD) เทียบกับชุดทดลองอื่นๆ ในการทดลองที่ 1	24
2	ต้นทุนวัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้ง หมักด้วยหัวเชื้อที่เตรียมจากน้ำสับปะรดและทำแห้งเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)	25

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ชุดถังทดลองในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดประกอบด้วย (ก) ระบบถังทดลอง (ข,ค,ง) ระบบบำบัดน้ำ	5
2	กระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้งด้วยน้ำสับปะรด (ก-ช)	7
3	กระบวนการผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยเทคนิคแบบ SD (ก-ช)	8
4	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร 4 สูตร (FD) นาน 6 สัปดาห์	13
5	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร 4 สูตร (SD) นาน 8 สัปดาห์	15

ผลการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งในอาหารสำเร็จรูปต่อการเจริญเติบโตของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790)

จิรัตน์ เกื้อแก้ว^{๑*} อัครา ไชยมงคล^๒ และ กมลรัตน์ ยงเจริญ^๑
สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง^๑ สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง^๒

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งหมักด้วยจุลินทรีย์ *Lactobacillus plantarum* สายพันธุ์ 541 ที่เลี้ยงด้วยน้ำสับปะรด นำมาทำเป็นผงโปรตีนแห้งด้วยเทคนิคแบบ FD และ SD เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ระดับ 0, 20, 40 และ 60% ในอาหารปลากะพงขาวที่มีขนาดต่างกัน โดยทั้งสองการทดลองมีสูตรที่ 1 (ชุดควบคุม), 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จำนวน 4 ซ้ำต่อสูตรอาหาร

การทดลองที่ 1 ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารปลากะพงขาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 3.51 ± 0.00 กรัม ในถังไฟเบอร์ขนาด 1 ตัน จำนวน 25 ตัวต่อถัง ทั้งหมด 16 ถัง โดยเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ที่ระดับ 20% ให้ผลการเจริญเติบโตได้ดีไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) กับชุดควบคุม (0%) แม้ว่าที่ระดับ 40% (FD) จะให้ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่ต่างกับที่ระดับ 20% (FD)

ในขณะที่การทดลองที่ 2 ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารปลากะพงขาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 1.24 ± 0.00 กรัมต่อตัว จำนวน 25 ตัวต่อถัง ทั้งหมด 16 ถัง โดยเลี้ยงในระบบการเลี้ยงน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดเต็ม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าทุกระดับของการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นไม่ส่งผลส่งเสริมการเจริญเติบโต ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุม แต่ที่ระดับ 20% (SD) ให้ผลอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) กับชุดควบคุม

พบว่าเมื่อมีการทดแทนด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตในระดับที่สูงขึ้น ทำให้ผลการเจริญเติบโต และแนวโน้มของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีค่าลดลง นอกจากนี้คุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตมีผลต่อการเจริญเติบโตตามขนาดของปลา ดังนั้นเพื่อให้ปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโตควรเลือกใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ทดแทนโปรตีนปลาป่นที่ระดับ 20% เป็นระดับที่ยอมรับได้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโต สำหรับโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ควรเลือกใช้ที่ระดับต่ำกว่า 20% ในการทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาวขนาดเล็ก จึงอาจกล่าวได้ว่าการทำแห้งแบบ Freeze-drying เป็นกระบวนการที่เหมาะสมจะใช้กับการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตเพื่อรักษาไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการ โครงสร้าง และคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัส (organoleptic) ของผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสต

คำสำคัญ: โปรตีนไฮโดรไลเสต เศษทิ้งกุ้ง ปลากะพงขาว อาหารสำเร็จรูป

*ผู้รับผิดชอบ : สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง ๔๑/๑๔ หมู่ ๙ ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ๒๐๑๑๐ โทรศัพท์/โทรสาร ๐-๓๘๓๒-๖๕๑๒ E-mail : jirratku@yahoo.com

Shrimp Waste Protein Hydrolysate Utilization in Completed Feed for Growth of Asian Seabass (*Lates calcarifer* Bloch, 1790)

Jeerarat Kuakaew^{1*} Atra Chaimongkol² and Kamonrat Yongjarean¹

Coastal Aquatic Feed Research Institute¹ National Institute of Coastal Aquaculture²

Abstract

Protein hydrolysate product from shrimp waste was fermented with *Lactobacillus plantarum* strain 541 cultured in pine apple juice. The fermented broth were dried into protein hydrolysate powder by the vacuum freeze dryer (FD) and the spray dryer (SD) techniques. The both of protein hydrolysate powders were used for protein of fishmeal replacement at 0, 20, 40 and 60% was treatment no. 1 (control), 2, 3 and 4, respectively in four replicates for two sizes of asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch, 1790)

The experiment 1, the completed feeds were replaced protein of fishmeal by protein hydrolysate FD was fed initial fish with an average body weight of 3.51 ± 0.00 g during 6 weeks in the 1 ton of fiber tank containing 25 fish within semi-closed water system. The result presented that the protein hydrolysate FD at 20% of replacement level increased growth not statistically significant ($P > 0.05$) when compared with control fish (0%). Although, at 40% (FD) of replacement level showed not statistically significant ($P > 0.05$) in feed conversion ratio, survival rate, daily feed consumption and protein efficiency ratio when compared with the 20% (FD).

The experiment 2, the completed feeds were replaced protein of fishmeal by protein hydrolysate SD was fed initial fish with an average body weight of 1.24 ± 0.00 g during 8 weeks in the same semi-closed water system with the tank containing 25 fish. The result showed that the all levels of replacement by protein hydrolysate SD were not improve growth statistically significant ($P < 0.05$) when compared with control fish (0%). However, the 20% (SD) of replacement level showed not statistically significant ($P > 0.05$) in feed conversion ratio, survival rate, daily feed consumption and protein efficiency ratio when compared with control fish (0%).

However, raise up of the both protein hydrolysates (FD and SD) were replaced in protein of fishmeal showed that the trend of growth, feed conversion ratio, daily feed consumption and protein efficiency ratio were decreased. In addition, the quality of protein hydrolysate had an effect on growth at difference weight or size of fish. As a result, the 20% (FD) of replacement level was the optimum protein requirement for fish. Nevertheless, the protein hydrolysate SD should use less than 20% of replacement level for small size of fish. Furthermore, freeze-drying is the best process for preserve nutrition quality, structure and organoleptic of protein hydrolysate product.

Key words: protein hydrolysate, shrimp waste, asian seabass, completed feed

*Corresponding author : Coastal Aquatic Feed Research Institute 41/14 Moo 9, Bangphra Sub-district, Sriracha District, Chonburi Province 20110 Tel./Fax. 0-3832-6512

E-mail : jiraratku@yahoo.com

คำนำ

ปลากระพงขาวเป็นปลาเศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย จึงมีการผลิตอาหารเม็ดสำเร็จรูปเพื่อเลี้ยงเป็นอุตสาหกรรม ดังนั้นการพัฒนาสูตรอาหารจึงมีความจำเป็น เพื่อให้สามารถสนับสนุนการเพาะเลี้ยงปลากระพงขาวของเกษตรกรได้ สำหรับการผลิตอาหารเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน โดยเฉพาะปลาป่น ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนสูงและมีความจำเป็นมากในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ นอกจากนี้การที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลากระพงขาวซึ่งเป็นปลากินเนื้อก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของปลาป่น (Boonyaratpalin *et. al.*, 1998) เนื่องจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ เหตุที่โปรตีนจากสัตว์มีค่าการย่อยได้ที่สูงกว่าโปรตีนจากพืช สัตว์จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า และโปรตีนจากสัตว์มีสมดุลของกรดอะมิโนที่ดีกว่าโปรตีนจากพืช ที่สำคัญโปรตีนจากสัตว์มีกลิ่นเฉพาะหอมชวนกินกว่า

ปัจจุบันได้มีการคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อหาแหล่งโปรตีนอื่นในการลดปริมาณการใช้ปลาป่นในการผลิตอาหารสัตว์ จากรายงานที่ได้ศึกษาของ จีรรัตน์ และคณะ (2555ก) โดยใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากระพงขาวที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30% หรือที่ระดับ 9, 18 และ 27% ตามลำดับ ในการใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งทดแทนโปรตีนของปลาป่นในสูตรอาหารดังกล่าว ซึ่งในกระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตมีการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเชิงพาณิชย์ (MRS broth) ในการเตรียมหัวเชื้อ *Lactobacillus plantarum*, 541 สำหรับใช้ในกระบวนการหมัก และทำให้เป็นผงโปรตีนด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งสุญญากาศ, Vacuum Freeze Dryer (FD) พบว่าที่ระดับ 30% ของการทดแทนปลาป่นเป็นระดับที่ยอมรับได้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน นอกจากนี้ จีรรัตน์ และคณะ (2555ข) ได้พัฒนากระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้ง โดยใช้น้ำสับประรดแทน MRS broth ในการเตรียมหัวเชื้อ *L. plantarum*, 541 สำหรับใช้ในกระบวนการหมักเพื่อลดต้นทุนและทำให้เป็นผงโปรตีนแห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งสุญญากาศ (FD) สำหรับใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของกุ้งขาวที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30% พบว่าที่ระดับ 30% เป็นระดับที่ยอมรับได้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนให้ผลเช่นเดียวกับในปลากระพงขาว (จีรรัตน์ และคณะ, 2555ก) จากข้อมูลการศึกษาดังกล่าวจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเสตเพื่อลดการใช้ปริมาณปลาป่นในสูตรอาหารปลากระพงขาวที่มีขนาดต่างกัน

การศึกษารั้ครั้งนี้จึงพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งโดยใช้น้ำสับประรดในการเตรียมหัวเชื้อสำหรับใช้ในกระบวนการหมัก และทำให้เป็นผงโปรตีนด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย, Spray dryer (SD) เลี้ยงปลากระพงขาวที่มีขนาดต่างกันด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ FD และ SD เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนในสัดส่วนต่างกันร่วมกับปลาป่น เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มระดับสูงสุดในการใช้ทดแทนปลาป่นได้ ทั้งเป็นการหาแหล่งวัตถุดิบโปรตีนที่จะสามารถใช้ทดแทนปลาป่นและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในสัตว์น้ำต่างชนิดกัน และศึกษาถึงผลการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลากระพงขาว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบถึงผลการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปลากระพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปทดแทนโปรตีนของปลาป่นในสัดส่วนต่างกันด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ FD
2. เพื่อทราบถึงผลการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปลากระพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปทดแทนโปรตีนของปลาป่นในสัดส่วนต่างกันด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ SD

วิธีดำเนินการ

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) แบ่งการวิจัยออกเป็น 2 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองมี 4 ชุดทดลอง โดยแบ่งเป็นศึกษาการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้งที่ผลิตแบบ FD และ SD สำหรับใช้ทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ระดับต่างๆ ซึ่งแต่ละชุดทดลองทำการทดลองละ 4 ซ้ำ ดังนี้

การทดลองที่ 1

- ชุดทดลองที่ 1 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน (0% ชุดควบคุม)
- ชุดทดลองที่ 2 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้ง (FD) ทดแทนโปรตีนปลาป่น 20%
- ชุดทดลองที่ 3 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้ง (FD) ทดแทนโปรตีนปลาป่น 40%
- ชุดทดลองที่ 4 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้ง (FD) ทดแทนโปรตีนปลาป่น 60%

การทดลองที่ 2

- ชุดทดลองที่ 1 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน (0% ชุดควบคุม)
- ชุดทดลองที่ 2 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้ง (SD) ทดแทนโปรตีนปลาป่น 20%
- ชุดทดลองที่ 3 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้ง (SD) ทดแทนโปรตีนปลาป่น 40%
- ชุดทดลองที่ 4 อาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษหิ้งกุ้ง (SD) ทดแทนโปรตีนปลาป่น 60%

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมระบบถังทดลอง

ถังทดลองเป็นถังไฟเบอร์แบบกลมทรงกระบอกขนาดความจุ 1 ตัน จำนวน 20 ถัง ถูกจัดวางโดยแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดละ 10 ถัง ต่อเข้ากับระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดที่มีอัตราการไหลเข้าและออกของน้ำในถังทดลองประมาณ 720 ลิตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 1ก) โดยน้ำที่ไหลออกจากถังทดลอง 10 ถังในแต่ละชุด จะไหลลงสู่ถังตกตะกอน จำนวน 2 ถัง ขนาดความจุ 500 ลิตร ซึ่งในถังที่สองจะมีถุงบรรจุไปโอบอลเพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยเกาะ (ภาพที่ 1ข) จากนั้นน้ำจะถูกสูบผ่านถังกรองระบบโปรตีนสกิมเมอร์ เพื่อกำจัดเศษตะกอนโปรตีนขนาดเล็ก (ภาพที่ 1ค) และไหลลงบ่อพักและบำบัดน้ำที่มีน้ำอยู่ประมาณ 6 ตัน ซึ่งภายในบ่อมีถุงบรรจุเปลือกหอยและเม็ดไปโอบอล (ภาพที่ 1ง) ก่อนที่น้ำจะถูกสูบเข้าไปใช้ในระบบการเลี้ยงต่อไป



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 ชุดถังทดลองในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดประกอบด้วย (ก) ระบบถังทดลอง (ข,ค,ง) ระบบบำบัดน้ำ

2.2 การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งด้วยน้ำสับปรด

การทดลองที่ 1 การผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วยเทคนิคแบบ FD

ในการทดลองนี้ใช้ผลผลิตของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการทดลองและกระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งด้วยน้ำสับปรด ซึ่งใช้แทนอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ตามรายงานของ จีร์รตัน และคณะ (2555ข) โดยมีการสร้างสูตรอาหารสำหรับใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ในการทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ระดับ 0, 20, 40 และ 60% ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 การผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยเทคนิคแบบ SD

โดยกระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งด้วยน้ำสับปรดทำตามขั้นตอนของ จีร์รตัน และคณะ (2555ข) โดยใช้เศษทิ้งกุ้งสดจากโรงงานแปรรูป มาบดอย่างหยาบด้วยเครื่องอัดเม็ดอาหาร (ภาพที่ 2ก และ ข) เตรียมหัวเชื้อน้ำสับปรดในการหมักโดยถ่ายเชื้อ *L. plantarum* สายพันธุ์ 541 ลงไปในน้ำสับปรดที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแล้ว และนำไปหมักที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงจะทำให้ได้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นประมาณ 1×10^9 CFU/ml (ภาพที่ 2ค) จากนั้นผสมหัวเชื้อน้ำสับปรดกับเศษทิ้งกุ้งบดลงในถังกวนผสมอัตโนมัติที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่องผสมอาหารดัดแปลงเป็นถังหมัก (ภาพที่ 2ง และ จ) โดยในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการหมักต้องควบคุมให้มีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.0-5.5 ซึ่งปรับด้วยกรดอะซิติก (อัตรา, 2539) เมื่อหมักครบ 16 ชั่วโมงแยกส่วนกากกับน้ำหมักโดยใช้ผ้ากรอง (ภาพที่ 2ฉ และ ช) จากนั้นนำน้ำหมักโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้ (ภาพที่ 2ซ) ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (SD) ที่บริษัท เอชวีเอสเอ็นจิเนียริง คอร์ปอเรชั่น จำกัด โดยหลักการเครื่องจะพ่นสารละลายตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของเหลวหรือหนืดผ่าน

ลมร้อน ซึ่งในครั้งนี้นำอุณหภูมิของลมร้อนช่วงเข้า (Inlet) ประมาณ 190 องศาเซลเซียส และลมร้อนช่วงออก (Outlet) ประมาณ 90 องศาเซลเซียส เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง อนุภาคตกลงสู่ด้านล่างของถังและผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยถังที่มีรูปทรงและแบบ cyclone (ภาพที่ 3ก-ฉ) จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นผงแห้งละเอียด (Powder) ของโปรตีนไฮโดรไลเสต (ภาพที่ 3ข และ 3ค) ซึ่งใช้เวลาสั้นในการทำแห้งเหมาะสมกับตัวอย่างที่อาจเสียหายเมื่อโดนความร้อนเป็นเวลานาน จากนั้นสร้างสูตรอาหารสำหรับใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ในการทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ระดับ 0, 20, 40 และ 60% ตามลำดับ

2.3 การเตรียมอาหารทดลอง

ผลิตอาหารทดลองจำนวน 4 สูตรทั้ง 2 การทดลอง โดยให้มีการทดแทนโปรตีนของปลาป่นในระดับ 20, 40 และ 60% ตามลำดับ โดยมีการคำนวณปริมาณการทดแทนโปรตีนจากปลาป่น ซึ่งปลาป่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีโปรตีน 60% ในขณะที่โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD มีโปรตีน 49.08% (ตารางที่ 1) และ 51.07% ของโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD (ตารางที่ 2)

ส่วนประกอบของอาหารทดลองแต่ละสูตร (ตารางที่ 1 และ 2) เริ่มจากผสมวัสดุอาหารแห้งที่มีปริมาณน้อยก่อน เช่น วิตามินผสมโดยใช้รำละเอียดเป็นสื่อและแร่ธาตุผสม ฯลฯ ให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะนำไปผสมรวมกับวัสดุอาหารแห้งอื่นที่มีปริมาณมากขึ้นตามลำดับ สำหรับผงโปรตีนไฮโดรไลเสตนั้น เนื่องจากเมื่อโดนอากาศจะดูดความชื้นเร็วทำให้เป็นก้อนเหนียวจึงต้องผสมรวมกับวัสดุที่แห้งและหยาบ เช่น แกลบและกากถั่วเหลือง จากนั้นรีบผสมรวมกับวัสดุทั้งหมดที่เตรียมไว้ก่อนหน้านี้ทันที เพราะถ้าช้าจะจับตัวกันเป็นก้อนเหนียวทำให้ผสมเข้ากันได้ยาก จากนั้นผสมวัสดุอาหารแห้งทั้งหมดให้เข้ากันดีอีกครั้งในหม้อกวนผสม (Hobart mixer) จึงเติมวัสดุอาหารจำพวกน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปลาและน้ำมันถั่วเหลือง และเติมน้ำให้ส่วนผสมมีความชื้นประมาณ 30% โดยน้ำหนัก (ในสูตรควบคุม) แต่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนไฮโดรไลเสตมากขึ้นในแต่ละสูตรจะต้องลดปริมาณน้ำลงตามลำดับเพื่อลดความเหนียวซึ่งจะทำให้อัดเม็ดได้ยาก จากนั้นนำส่วนผสมไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส นานประมาณ 7 ชั่วโมง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงแยกผงฝุ่นอาหารออก เก็บอาหารทดลองไว้ในตู้เย็นประมาณ 4-6 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงการทดลอง

อาหารทดลองส่วนหนึ่งแบ่งไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองได้แก่ ปริมาณโปรตีนอย่างหยาบด้วยเครื่อง TruSpec CN (Carbon/Nitrogen Determination, LECO) วิเคราะห์ปริมาณไขมันรวมโดยใช้เทคนิค SFE (Supercritical Fluid Extraction) ด้วย เครื่อง Fat Extractor (TFE 2000, LECO) วิเคราะห์ค่าพลังงานในอาหารด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Automatic Calorimeter AC-350, LECO) วิเคราะห์หาความชื้น เถ้า และเยื่อใยตามวิธีของ AOAC (2005)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งด้วยน้ำสับปะรด (ก-ซ)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ซ)



(ซ)

ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลสโดยเทคนิคแบบ SD (ก-ซ)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีในอาหารทั้ง 4 สูตร ในการทดลองที่ 1

วัตถุดิบ	การทดลองที่ 1			
	1 (ควบคุม)	2 (20% FD)	3 (40% FD)	4 (60% FD)
ปลาป่น (60% โปรตีน)	40.00	32.00	24.00	16.00
โปรตีนไฮโดรไลเสต FD (49.08% โปรตีน)	0.00	9.78	19.56	29.34
ตับหมึกป่น	10.00	10.00	10.00	10.00
กากถั่วเหลืองป่น	10.00	10.00	10.00	10.00
หัวกุ้งป่น	5.00	5.00	5.00	5.00
วิทกยูเด็นท์	3.00	3.00	3.00	3.00
ปลายข้าว	15.00	11.00	6.00	1.20
แป้งสาลี	5.00	7.50	10.90	14.00
เกลือบด	4.40	3.84	3.41	3.06
น้ำมันปลาทูน่า	3.36	3.83	4.28	4.75
น้ำมันถั่วเหลือง	1.84	1.65	1.45	1.25
วิตามินผสม*	0.50	0.50	0.50	0.50
แร่ธาตุผสม**	0.50	0.50	0.50	0.50
วิตามินซี (50%)	0.30	0.30	0.30	0.30
โซเดียมโมโนฟอสเฟต	1.00	1.00	1.00	1.00
กรดโพธิโอนิก	0.10	0.10	0.10	0.10
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางเคมี (%น้ำหนักแห้ง)				
โปรตีน	50.34±0.08	50.16±0.12	50.60±0.06	50.63±0.02
ไขมัน	11.96±0.12	12.81±0.33	13.63±0.15	13.42±0.19
เถ้า	14.44±0.02	13.00±0.03	13.34±0.04	14.02±0.03
เยื่อใย	3.44±0.14	3.27±0.15	3.39±0.10	3.68±0.17
คาร์โบไฮเดรต***	19.82±0.33	20.76±0.16	19.04±0.21	18.25±0.32
พลังงาน (Kcal/100 g)	490.94±0.47	503.76±0.27	511.75±0.73	510.77±1.09
ความชื้น (%)	9.54±0.07	9.56±0.05	10.10±0.12	11.22±0.09

หมายเหตุ : * วิตามินผสม (กรัมต่อกรัมวิตามินผสม) ประกอบด้วย thiamine (B1) 60.0, riboflavin (B2) 40.0, niacin (B3) 120.0, panthothenic (B5) 40.0, pyridoxine (B6) 20.0, cyanocobalamin (B12) 0.04, folic acid 8.0, inositol (98%) 133.3, choline chloride (50%) 500.0, biotin (2%) 0.04, vitamin (A/D3) 6.0, vitamin E (50%) 33.33, menadione (K 50%) 8.0, และ filler (รำข้าวละเอียด) 28.75 กรัม

** แร่ธาตุผสม (กรัมต่อกรัมแร่ธาตุผสม) ประกอบด้วย CoCl_2 4.2, CuSO_4 43.3, FeSO_4 333.3, MnSO_4 166.7, NaSeO_3 (selenium) 0.8, ZnSO_4 333.3 และ filler (รำข้าวละเอียด) 118.3 กรัม

*** การคำนวณ %คาร์โบไฮเดรต กรณีคิด %ของน้ำหนักแห้ง

%คาร์โบไฮเดรต = 100 - (%โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า + %เยื่อใย)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีในอาหารทั้ง 4 สูตร ในการทดลองที่ 2

วัตถุดิบ	การทดลองที่ 2			
	1 (ควบคุม)	2 (20% SD)	3 (40% SD)	4 (60% SD)
ปลาป่น (60% โปรตีน)	40.00	32.00	24.00	16.00
โปรตีนไฮโดรไลเสต SD (51.07% โปรตีน)	0.00	9.40	18.80	28.20
ตับหมึกป่น	10.00	10.00	10.00	10.00
กากถั่วเหลืองป่น	10.00	10.00	10.00	10.00
หัวกุ้งป่น	5.00	5.00	5.00	5.00
วิทกทูแตนท์	3.00	3.00	3.00	3.00
ปลายข้าว	15.00	11.48	7.66	3.94
แป้งสาลี	5.00	7.20	9.70	12.10
เกลือบด	4.40	4.20	4.00	3.81
น้ำมันปลาทูน่า	3.36	3.76	4.15	4.54
น้ำมันถั่วเหลือง	1.84	1.56	1.29	1.01
วิตามินผสม*	0.50	0.50	0.50	0.50
แร่ธาตุผสม**	0.50	0.50	0.50	0.50
วิตามินซี (50%)	0.30	0.30	0.30	0.30
โซเดียมโมโนฟอสเฟต	1.00	1.00	1.00	1.00
กรดโพธิโอนิก	0.10	0.10	0.10	0.10
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางเคมี (%น้ำหนักแห้ง)				
โปรตีน	50.80±0.94	50.60±0.43	50.92±0.49	49.98±0.47
ไขมัน	12.21±0.07	12.19±0.02	12.69±0.28	13.08±0.56
เถ้า	14.12±0.02	14.61±0.04	14.67±0.01	15.09±0.03
เยื่อใย	3.54±0.12	3.75±0.18	3.15±0.15	3.54±0.20
คาร์โบไฮเดรต***	19.33±0.88	18.85±0.48	18.57±0.69	18.31±0.47
พลังงาน (Kcal/100 g)	480.86±0.75	482.66±0.92	488.07±0.38	496.39±0.72
ความชื้น (%)	10.08±0.02	10.67±0.04	9.97±0.13	10.28±0.13

หมายเหตุ : * วิตามินผสม (กรัมต่อกรัมวิตามินผสม) ประกอบด้วย thiamine (B1) 60.0, riboflavin (B2) 40.0, niacin (B3) 120.0, panthothenic (B5) 40.0, pyridoxine (B6) 20.0, cyanocobalamin (B12) 0.04, folic acid 8.0, inositol (98%) 133.3, choline chloride (50%) 500.0, biotin (2%) 0.04, vitamin (A/D3) 6.0, vitamin E (50%) 33.33, menadione (K 50%) 8.0, และ filler (รำข้าวละเอียด) 28.75 กรัม

** แร่ธาตุผสม (กรัมต่อกรัมแร่ธาตุผสม) ประกอบด้วย CoCl_2 4.2, CuSO_4 43.3, FeSO_4 333.3, MnSO_4 166.7, NaSeO_3 (selenium) 0.8, ZnSO_4 333.3 และ filler (รำข้าวละเอียด) 118.3 กรัม

*** การคำนวณ %คาร์โบไฮเดรต กรณีคิด %ของน้ำหนักแห้ง

%คาร์โบไฮเดรต = 100 - (%โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า + %เยื่อใย)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ FD และ SD

ชนิดกรดอะมิโน	FAO/WHO/UNU**	Spray dry (SD)		Freeze dry (FD)*	
	มิลลิกรัม/กรัมโปรตีน	มิลลิกรัม/กรัมโปรตีน	มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง	มิลลิกรัม/กรัมโปรตีน	มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง
กรดอะมิโนจำเป็น					
อาร์จินีน	50	42.20 ± 1.61	21.55 ± 1.33	64.88 ± 0.55	31.84 ± 0.27
ฮิสติดีน	20	17.43 ± 1.31	8.90 ± 0.71	23.36 ± 0.31	11.47 ± 0.15
ไอโซลิวซีน	40	44.06 ± 1.12	22.50 ± 1.10	44.60 ± 0.19	21.89 ± 0.09
ลิวซีน	70	68.48 ± 1.18	34.97 ± 1.64	75.11 ± 0.93	36.86 ± 0.45
ไลซีน	55	71.25 ± 1.21	36.38 ± 1.66	67.28 ± 0.46	33.02 ± 0.23
เมทไทโอนีน	35	20.17 ± 1.42	10.30 ± 1.75	20.28 ± 0.58	9.95 ± 0.29
ฟีนอลาลานีน	42	40.70 ± 1.21	20.79 ± 1.64	50.07 ± 0.73	24.57 ± 0.36
ทรีโอนีน	40	47.03 ± 1.96	24.02 ± 1.53	43.73 ± 0.76	21.46 ± 0.37
วาเลีน	54	47.24 ± 1.82	24.13 ± 1.95	51.10 ± 0.70	25.08 ± 0.34
กรดอะมิโนไม่จำเป็น					
อะลานีน		89.81 ± 1.04	45.87 ± 1.09	75.41 ± 0.79	37.01 ± 0.39
แอสพาทิก		105.43 ± 1.26	53.84 ± 1.20	97.63 ± 1.32	47.92 ± 0.65
ซิสทีน		4.29 ± 0.05	2.19 ± 0.03	6.24 ± 0.54	3.06 ± 0.26
กลูตามิก		158.55 ± 1.34	80.97 ± 1.79	140.56 ± 1.50	68.99 ± 0.74
ไกลซีน		72.64 ± 1.50	37.10 ± 1.56	67.76 ± 0.75	33.26 ± 0.37
โพรลีน		53.07 ± 1.85	27.10 ± 0.94	59.36 ± 0.66	29.13 ± 0.32
ซีรีน		36.04 ± 1.38	18.41 ± 1.73	41.12 ± 1.10	20.18 ± 0.54
ไทโรซีน		23.36 ± 0.90	11.93 ± 0.46	32.65 ± 0.49	16.02 ± 0.24
Σกรดอะมิโนทั้งหมด (AA)		941.75	480.95	961.12	471.72
Σกรดอะมิโนจำเป็น (EAA)		398.56	203.54	440.40	216.15
Σกรดอะมิโนไม่จำเป็น (NEAA)		543.19	277.41	520.71	255.57
% ΣEAA/ΣAA		42.32	-	45.82	-
ΣEAA/ΣNEAA		0.73	-	0.85	-
% รวมของอะลานีน แอสพาติก กลูตามิกและไกลซีน***		45.28		39.68	

หมายเหตุ : ค่าแสดงในตารางไม่ได้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของทริปโตเฟน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น

* อ้างอิงข้อมูลจาก จีรรัตน์ และคณะ (2555ข)

** แสดงปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในโปรตีนมาตรฐานตามรายงานจาก FAO/WHO/UNU (1985)

*** แสดงชนิดกรดอะมิโนด้านช่วยเพิ่มกลีนิส (Cao *et al.*, 2008)

3. สัตว์ทดลองและการดำเนินการทดลอง

อนุบาลลูกปลากะพงขาวภายในโรงเพาะฟักของสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยฝึกให้กินอาหารเม็ดสำเร็จรูปสูตรควบคุมและเลี้ยงให้ได้ขนาดที่ต้องการจึงสุ่มคัดเลือกลูกปลาที่แข็งแรง โดยในการทดลองที่ 1 มีขนาดน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 3.51 ± 0.00 กรัมต่อตัว และการทดลองที่ 2 มีขนาดน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 1.24 ± 0.00 กรัมต่อตัว โดยทั้งสองการทดลองใส่จำนวนปลาเท่ากัน 25 ตัวต่อถัง (4 ชุดทดลอง ชุดทดลองละ 4 ซ้ำ) ในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดที่เตรียมไว้ให้อากาศอย่างเพียงพอ เก็บตัวอย่างลูกปลากะพงขาวจำนวนหนึ่ง สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างปลาก่อนทดลอง

ระหว่างการทดลองให้ปลากินอาหารจนอิ่มวันละ 2 มื้อ คือ เวลา 08.30 น. และ 15.30 น. ด้วยอาหารทดลองแต่ละสูตร โดยมีการจดบันทึกปริมาณการให้อาหารตลอดการทดลอง เพื่อใช้คำนวณปริมาณอาหารที่ปลากินจริงในแต่ละมื้อหลัง และเปลี่ยนถ่ายน้ำในระบบถังเลี้ยงประมาณ 10% ต่อวัน และเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50% ในระบบถังเลี้ยงเมื่อซังน้ำหนักปลาทดลองทุกๆ 2 สัปดาห์ สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำในระบบทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง จะเก็บน้ำทั้งจุดที่น้ำไหลเข้าและออกจากระบบจำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ วิเคราะห์ค่าความเป็นต่างของน้ำตามวิธีของ APHA, AWWA and WPCF (1985) วิเคราะห์ค่าแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน และไนเตรทตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะสุ่มเก็บตัวอย่างปลาหลังการทดลองในแต่ละถัง และนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งสูญญากาศ (Vacuum Freeze Dryer) สำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในปลาทั้งตัวของแต่ละชุดการทดลอง

4. การบันทึกผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ตรวจสอบการเจริญเติบโตทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยชั่งน้ำหนักรวมของปลาทดลองแต่ละถัง บันทึกจำนวนปลาที่ตาย บันทึกปริมาณอาหารที่ปลากินจริงเพื่อนำมาคำนวณหาการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการกินอาหารต่อวัน และอัตราการรอดตาย เมื่อสิ้นสุดการทดลองข้อมูลต่างๆ ที่ได้บันทึกไว้นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังนี้

4.1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR, %/วัน)

$$= \frac{(\ln \text{ น.น.เฉลี่ยสุดท้าย} - \ln \text{ น.น.เฉลี่ยเริ่มต้น})}{\text{ระยะเวลาทดลอง (วัน)}} \times 100$$

4.2 อัตราการกินอาหารต่อวัน (Daily feed consumption, %/วัน)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{[(\text{น.น.เฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)} + \text{น.น.เฉลี่ยสุดท้าย (กรัม)})/2] \times \text{ระยะเวลาทดลอง (วัน)}} \times 100$$

4.3 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein efficient ratio; PER)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของโปรตีนในอาหารที่ปลากิน (กรัม)}}$$

ผลจากการตรวจวัดต่างๆ ในแต่ละชุดการทดลองถูกนำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธีของ Tukey's HSD multiple comparisons test ด้วยโปรแกรม SYSTAT (Wilkinson *et al.*, 1992)

ผลการศึกษา

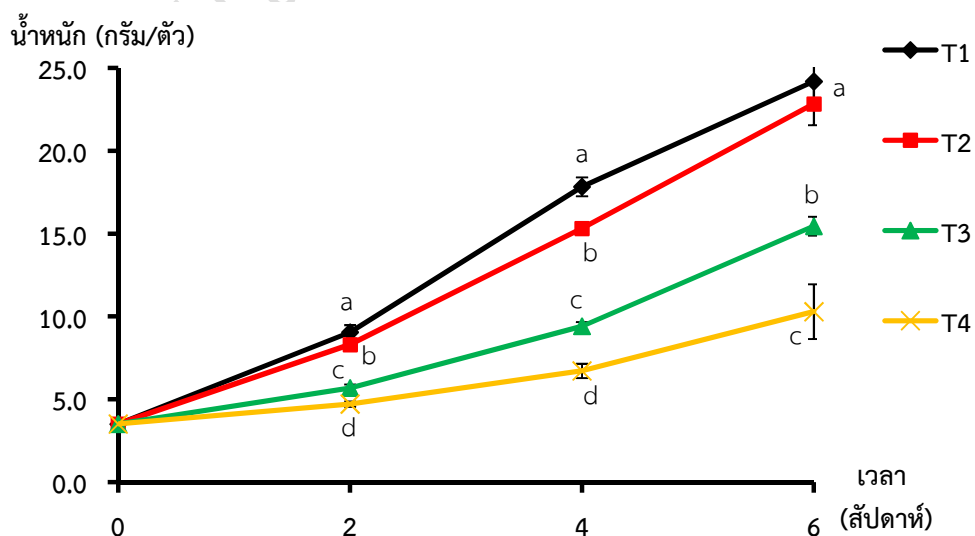
1. การเจริญเติบโตจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ FD และ SD เพื่อทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาว

1.1 การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวในการทดลองที่ 1 (FD)

ผลการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4) จากน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 3.51 ± 0.00 กรัมต่อตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (22.82 ± 1.28 - 24.18 ± 1.23 กรัมต่อตัว), เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (549.78 ± 36.19 - $588.52 \pm 35.19\%$) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (4.45 ± 0.13 - 4.59 ± 0.12 %/วัน) ของสูตรที่ 1 และ 2 มีค่าสูงกว่าและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างกันเมื่อเทียบกับสูตร 3 และ 4 ที่มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังเห็นได้ชัดเจนจากภาพที่ 4 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยกรัมต่อตัวในทุกๆ สองสัปดาห์ที่มีการชั่งน้ำหนัก พบว่าการเจริญเติบโตของปลาทดลองในสูตรที่ 3 และ 4 ต่ำกว่าปลาทดลองในสูตรที่ 1 และ 2 ตลอดการทดลอง

สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายของปลาทดลองทุกสูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างกัน ($P > 0.05$)

ในขณะที่ปลาทดลองสูตรที่ 1-3 ให้ค่าอัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างกัน และพบค่าต่ำสุดในปลาทดลองสูตร 4



ภาพที่ 4 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร 4 สูตร (FD) นาน 6 สัปดาห์

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวันและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวเลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (FD) 4 สูตร นาน 6 สัปดาห์

พารามิเตอร์	การทดลองที่ 1 (FD)			
	1	2	3	4
1. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)				
เริ่มต้น ^{ns}	3.51±0.00	3.51±0.00	3.51±0.00	3.51±0.00
สุดท้ายที่ 6 สัปดาห์	24.18±1.23 ^a	22.82±1.28 ^a	15.45±0.57 ^b	10.29±1.65 ^c
2. น้ำหนักเพิ่ม (%)	588.52±35.19 ^a	549.78±36.19 ^a	339.47±16.21 ^b	193.02±46.86 ^c
3. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	4.59±0.12 ^a	4.45±0.13 ^a	3.52±0.09 ^b	2.54±0.39 ^c
4. อัตราการเปลี่ยน ^{ns} อาหารเป็นเนื้อ	1.20±0.06	1.18±0.02	1.34±0.10	1.49±0.32
5. อัตราการรอดตาย ^{ns} (%)	96.00±5.66	94.00±5.16	93.00±5.03	96.00±3.27
6. อัตราการกินอาหารต่อวัน (%/วัน)	4.26±0.15 ^a	4.09±0.14 ^a	3.90±0.16 ^{ab}	3.35±0.49 ^b
7. ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)	1.78±0.06 ^a	1.79±0.03 ^a	1.60±0.04 ^a	1.18±0.19 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), ^{ns} = non-significant

1.2 การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวในการทดลองที่ 2 (SD)

ผลการเจริญเติบโต (ตารางที่ 5) จากน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 1.24±0.00 กรัมต่อตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองสัปดาห์ที่ 8 พบว่าทั้งค่าน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (21.07±3.14 กรัมต่อตัว), เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (1,595.13±255.98%) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (5.04±0.27 %/วัน) ของปลาทดลองในสูตรควบคุมให้ค่าสูงสุดและแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรที่ 2-4 ซึ่งมีการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ระดับ 20, 40 และ 60% ตามลำดับ แต่ให้แนวโน้มค่าการเจริญเติบโตดังกล่าวลดลงตามการเพิ่มขึ้นตามลำดับของการทดแทนโปรตีนของปลาป่น ดังแสดงในภาพที่ 5 ถึงน้ำหนักเฉลี่ยกรัมต่อตัวในทุกๆ สองสัปดาห์ที่มีการชั่งน้ำหนัก ซึ่งให้ผลการเจริญเติบโตลดลงตามลำดับอย่างชัดเจน

ในขณะที่ปลาทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1-3 ให้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (1.17±0.08 - 1.35±0.18) และอัตราการรอดตาย (64.00±8.87 - 82.50±6.81%) ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างกันและมีค่าสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4

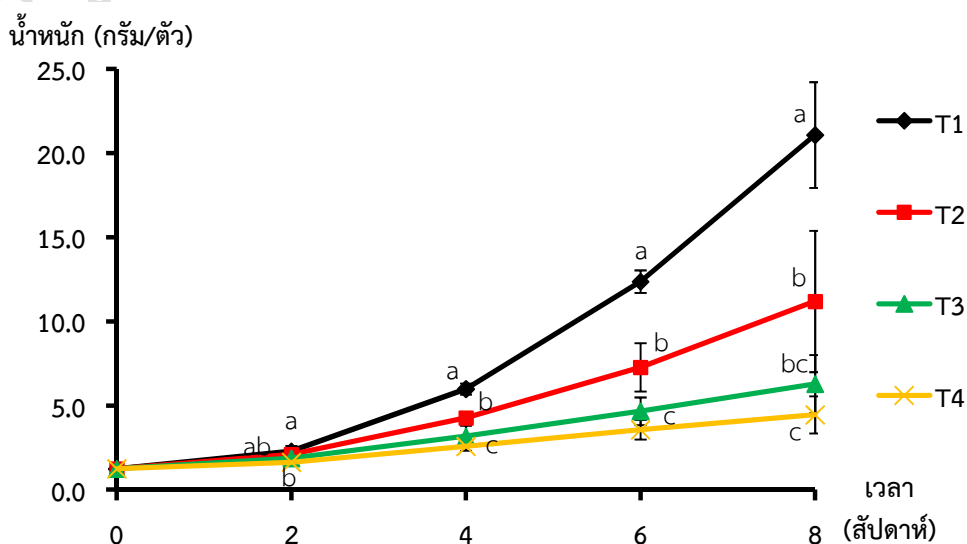
สำหรับอัตราการกินอาหารต่อวันและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในปลาทดลองให้ผลเช่นเดียวกัน โดยพบค่าสูงกว่าและไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างกันของปลาทดลองในสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าอัตรา

การกินอาหารต่อวัน 3.06 ± 0.23 - 3.60 ± 0.13 %/วัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน 1.28 ± 0.22 - 1.46 ± 0.13 เมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวันและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากะพงขาวเลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (SD) 4 สูตร นาน 8 สัปดาห์

พารามิเตอร์	การทดลองที่ 2 (SD)			
	1	2	3	4
1. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)				
เริ่มต้น ^{ns}	1.24 ± 0.00	1.24 ± 0.00	1.25 ± 0.01	1.25 ± 0.01
สุดท้ายที่ 8 สัปดาห์	21.07 ± 3.14^a	11.19 ± 4.20^b	6.28 ± 1.72^{bc}	4.45 ± 1.11^c
2. น้ำหนักเพิ่ม (%)	$1,595.13 \pm 255.98^a$	800.58 ± 338.48^b	403.44 ± 137.47^{bc}	257.56 ± 88.87^c
3. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	5.04 ± 0.27^a	3.83 ± 0.70^b	2.84 ± 0.46^{bc}	2.23 ± 0.50^c
4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.17 ± 0.08^a	1.22 ± 0.14^{ab}	1.35 ± 0.18^{ab}	1.44 ± 0.06^b
5. อัตราการรอดตาย (%)	82.50 ± 6.81^a	65.00 ± 10.52^{ab}	64.00 ± 8.87^{ab}	56.00 ± 14.97^b
6. อัตราการกินอาหารต่อวัน (%/วัน)	3.60 ± 0.13^a	3.06 ± 0.23^{ab}	2.76 ± 0.20^{bc}	2.34 ± 0.52^c
7. ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)	1.46 ± 0.13^a	1.28 ± 0.22^{ab}	1.06 ± 0.17^{bc}	0.81 ± 0.14^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), ^{ns} = non-significant



ภาพที่ 5 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหาร 4 สูตร (SD) นาน 8 สัปดาห์

2. องค์ประกอบทางเคมีในปลาทดลองทั้งตัวจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD และ SD เพื่อทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาว

2.1 องค์ประกอบทางเคมีในปลาทดลองทั้งตัวจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD

พบว่าปริมาณโปรตีนในปลากะพงขาวทั้งตัวหลังการทดลองมีค่าไม่สอดคล้องกับผลการเจริญเติบโต โดยพบว่าปลาทดลองสูตรที่ 4 ($65.80 \pm 0.21\%$) มีค่าโปรตีนในปลาทั้งตัวสูงสุดและแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกสูตร พบค่าโปรตีนในปลาทั้งตัวต่ำสุดในสูตรที่ 2 ซึ่งมีผลการเจริญเติบโตดีกว่าปลาทดลองในสูตร 4 (ตารางที่ 6)

ในขณะที่ผลไขมันในปลาทั้งตัวให้ค่ากลับกันกับผลโปรตีน โดยสูตรที่ 2 มีค่าปริมาณไขมันสูงสุด ($13.64 \pm 0.60\%$) แตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกสูตร ในขณะที่สูตร 4 ให้ค่าไขมันในปลาทดลองต่ำสุด ($8.39 \pm 0.37\%$) ปริมาณเถ้าในปลาทดลองสอดคล้องกับปริมาณโปรตีนที่พบในปลาทดลอง โดยสูตรที่ 4 ($17.86 \pm 0.63\%$) ให้เถ้าสูงสุดแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับสูตร 1 และ 2 แต่ไม่ต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) กับสูตรที่ 3 ($17.03 \pm 0.39\%$) (ตารางที่ 6)

สำหรับค่าคาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย และพลังงานรวมในปลาทดลองให้ผลในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกับปริมาณไขมันรวมข้างต้น ซึ่งพบว่ามีค่าสูงสุดของคาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย ($10.86 \pm 0.81\%$) และพลังงานรวม (520.98 ± 1.25 Kcal/100 g) ในปลาทดลองสูตรที่ 2 และแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับสูตรอื่นๆ ในขณะที่สูตร 4 มีค่าทั้งสองต่ำสุด (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักแห้ง) ในปลากะพงขาวทั้งตัวก่อนและหลังการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (FD) 4 สูตร นาน 6 สัปดาห์

องค์ประกอบทางเคมี	ปลาก่อนการทดลอง*	ปลาหลังการทดลอง (FD)			
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
โปรตีน	66.55 ± 0.28	61.33 ± 0.26^c	59.72 ± 0.56^d	62.76 ± 0.18^b	65.80 ± 0.21^a
ไขมัน	5.24 ± 0.15	11.54 ± 0.22^b	13.64 ± 0.60^a	10.57 ± 0.19^c	8.39 ± 0.37^d
เถ้า	23.61 ± 0.11	16.85 ± 0.43^b	15.78 ± 0.42^c	17.03 ± 0.39^{ab}	17.86 ± 0.63^a
คาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย**	4.60 ± 0.48	10.28 ± 0.33^{ab}	10.86 ± 0.8^a	9.64 ± 0.54^b	7.95 ± 0.43^c
พลังงานรวม (Kcal/100 g)	398.73 ± 0.13	496.17 ± 4.76^b	520.98 ± 1.25^a	485.76 ± 5.57^c	453.18 ± 2.91^d
ความชื้น (%)***	76.88 ± 0.21	72.98 ± 0.35^c	72.30 ± 0.32^c	74.08 ± 0.28^b	75.61 ± 0.03^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* ไม่มีการทดสอบความแตกต่างทางสถิติในปลาก่อนทดลอง

** การคำนวณ %คาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย (กรณีคิด %ของน้ำหนักแห้ง); %คาร์โบไฮเดรต = $100 - (\%โปรตีน + \%ไขมัน + \%เถ้า)$

*** ค่าความชื้นในตารางได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งสุญญากาศ (Vacuum Freeze Dryer)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีในปลาทดลองทั้งตัวจากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD

ปริมาณโปรตีนในปลากระพงขาวทั้งตัวหลังการทดลองให้ค่าไม่สอดคล้องกับผลการเจริญเติบโต พบว่าปลาทดลองสูตรที่ 2 และ 4 (63.26 ± 0.45 - $64.23 \pm 0.12\%$) มีค่าโปรตีนในปลาทั้งตัวสูงกว่าและแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับสูตรควบคุม ซึ่งปริมาณโปรตีนที่พบในปลาทดลองทุกสูตรให้ผลตรงข้ามกับปริมาณไขมัน โดยพบว่าไขมันในปลาทั้งตัวของสูตรควบคุมมีค่าสูงสุด ($12.80 \pm 0.26\%$) และแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกสูตร ในขณะที่ปลาทดลองสูตรที่ 2 และ 4 มีปริมาณไขมันในปลาทั้งตัวต่ำสุด (ตารางที่ 7)

สำหรับปริมาณเถ้าในปลากระพงขาวทั้งตัวพบสูงสุดในปลาทดลองสูตรที่ 4 ($21.71 \pm 0.39\%$) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกสูตร โดยมีปริมาณเถ้าต่ำสุดในชุดควบคุม สำหรับค่าคาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย ($11.16 \pm 1.00\%$) และพลังงานรวม (504.92 ± 2.33 Kcal/100 g) ในปลาทั้งตัวหลังการทดลองมีแนวโน้มเหมือนกัน ซึ่งพบว่ามีค่าสูงสุดในสูตรควบคุมและแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกสูตร ในขณะที่สูตร 4 มีค่าทั้งสองต่ำสุด (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักแห้ง) ในปลากระพงขาวทั้งตัวก่อนและหลังการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง (SD) 4 สูตร นาน 8 สัปดาห์

องค์ประกอบทางเคมี	ปลาก่อนการทดลอง*	ปลาหลังการทดลอง (SD)			
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
โปรตีน	65.93 ± 0.25	60.37 ± 0.60^c	64.23 ± 0.12^a	62.57 ± 0.56^b	63.26 ± 0.45^{ab}
ไขมัน	6.97 ± 0.13	12.80 ± 0.26^a	8.89 ± 0.52^c	10.66 ± 0.22^b	8.60 ± 0.73^c
เถ้า	18.11 ± 0.08	15.67 ± 0.19^c	18.74 ± 0.62^b	19.03 ± 0.23^b	21.71 ± 0.39^a
คาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย**	8.99 ± 0.34	11.16 ± 1.00^a	8.14 ± 0.57^b	7.74 ± 0.74^{bc}	6.43 ± 0.79^c
พลังงานรวม (Kcal/100 g)	440.24 ± 0.64	504.92 ± 2.33^a	460.04 ± 5.93^b	450.08 ± 8.47^b	427.49 ± 4.51^c
ความชื้น (%)***	78.84 ± 0.20	71.92 ± 0.19^d	74.23 ± 0.36^c	75.25 ± 0.19^b	76.45 ± 0.19^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* ไม่มีการทดสอบความแตกต่างทางสถิติในปลาก่อนทดลอง

** การคำนวณ %คาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย (กรณีคิด %ของน้ำหนักแห้ง); %คาร์โบไฮเดรต = $100 - (\%โปรตีน + \%ไขมัน + \%เถ้า)$

*** ค่าความชื้นในตารางได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งสุญญากาศ (Vacuum Freeze Dryer)

3. คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

ในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดตลอดการทดลองนาน 6 สัปดาห์ในการทดลองที่ 1 และ 8 สัปดาห์ในการทดลองที่ 2 มีระบบการบำบัดน้ำและการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยน้ำมีการหมุนเวียนในระบบกึ่งปิดไหลผ่านออกจากถังทดลองและเข้าสู่ระบบการบำบัด แล้วจึงหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังทดลองไปตามระบบ โดยภาพรวมพบว่าคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองทั้งสองครั้งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (กรมประมง, 2546) แสดงผลในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดทั้งจุดน้ำเข้าและออกของระบบถังทดลอง

พารามิเตอร์	การทดลองที่ 1 (6 สัปดาห์)		การทดลองที่ 2 (8 สัปดาห์)	
	จุดน้ำเข้า	จุดน้ำออก	จุดน้ำเข้า	จุดน้ำออก
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	28.63 ± 1.77	28.75 ± 1.77	31.43 ± 1.60	31.54 ± 1.48
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.81 ± 1.20	28.96 ± 0.91	29.11 ± 0.82	29.13 ± 0.78
ความเป็นกรด-ด่าง	7.48 ± 0.39	7.53 ± 0.34	7.22 ± 0.24	7.33 ± 0.18
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.81 ± 1.25	4.77 ± 1.21	5.84 ± 0.69	5.75 ± 0.68
ความเป็นต่าง (มิลลิกรัมแคลเซียม คาร์บอเนตต่อลิตร)	98.44 ± 5.98	101.00 ± 6.23	98.07 ± 25.54	107.96 ± 11.02
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.05
ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.01
ไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.87 ± 0.09	0.91 ± 0.19	0.93 ± 0.11	0.97 ± 0.15

หมายเหตุ : ค่าในตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ตลอดการทดลอง

วิจารณ์ผล

คุณภาพของผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งโดยใช้เทคนิคทำแห้งแบบ FD เปรียบเทียบกับแบบ SD เพื่อใช้ทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาว พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD มีค่าโปรตีนอย่างหยาบ 51.07% (ตารางที่ 2) ในขณะที่โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD มีค่าโปรตีนอย่างหยาบ 49.08% (ตารางที่ 1) ซึ่งอาจเกิดจากแหล่งวัตถุดิบเศษทิ้งกุ้งที่นำมาใช้ผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตเก็บคนละช่วงเวลากัน เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนจำเป็นจากปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดและสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนไม่จำเป็น พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD มีค่า 42% และ 0.73 ตามลำดับ โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD มีค่า 46% และ 0.85 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองเทคนิคยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของ 40% และ 0.60 ตามลำดับจากรายงานขององค์การอนามัยโลก (World Health organization) และองค์การเกษตรและอาหารแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (FAO/WHO, 1973 cited after Cao *et al.*, 2009) แต่เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของกรดอะมิโนแต่ละชนิดพบว่าโดยภาพรวมโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นน้อยกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD แต่มีปริมาณกรดอะมิโนไม่จำเป็นมากกว่าจึงทำให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์รวมของอะลานีน แอสพาทิก กลูตามิก และไกลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนไม่จำเป็นแต่เป็นกรดอะมิโน 4 ชนิดที่มีผลต่อกลิ่น

รสที่ดี (Cao *et al.*, 2008) พบปริมาณสูงกว่าในโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD (ตารางที่ 3) จึงอาจเป็นไปได้ว่า ความร้อนจากเทคนิคการทำให้เป็นผงโปรตีนแห้งแบบ SD ทำให้เสียคุณค่าของโปรตีนไปบางส่วน เมื่อดูจาก ปริมาณกรดอะมิโนในตารางที่ 3 โดยเปรียบเทียบกับค่าโปรตีนมาตรฐานตามรายงาน FAO/WHO/UNU (1985) cited after Hernandez *et al.* (2011) พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ค่อนข้างมีปริมาณของ กรดอะมิโนต่ำกว่าค่ามาตรฐานดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องจากรายงานของ Cordova-Murueta and Garcia-Carreno (2002) กล่าวว่าวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนควรผ่านขั้นตอนการผลิตที่พิถีพิถัน เพื่อรักษาไว้ซึ่งคุณค่า ทางโภชนาการ โครงสร้าง และคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัส (organoleptic) ของผลิตภัณฑ์และการทำแห้ง แบบ freeze-drying เป็นกระบวนการที่เหมาะสมจะใช้กับโปรตีนไฮโดรไลเสต

อาจกล่าวได้ว่าเทคนิคการทำแห้งของโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ทำให้ได้ผงโปรตีนที่มีคุณภาพ สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในการทดแทนปลาป่นในอาหารปลากะพงขาวได้ จึงสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 เมื่อนำผงโปรตีน ไฮโดรไลเสตแบบ FD มาใช้ทดแทนโปรตีนของปลาป่นในการศึกษาครั้งนี้ที่น้ำหนักปลาทดลอง เฉลี่ยเริ่มต้น 3.51 ± 0.00 กรัมต่อตัว พบว่าการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ที่ระดับ 20% ให้ผลการ เจริญเติบโต อีกทั้งอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนได้ดีไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ซึ่งผลในครั้งนี้นี้ยังคงสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ของ จีรรัตน์ และคณะ (2555ก) ซึ่งพบว่าสามารถใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตทำแห้งด้วยเทคนิคแบบ FD ทดแทน ปลาป่นได้ถึงระดับ 30% (เทียบเป็น 27% ของการทดแทนโปรตีนของปลาป่น) ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ในการ ส่งเสริมการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในปลากะพงขาวทดลองที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 1.01 ± 0.00 กรัมต่อตัว ซึ่งมีขนาด เล็กกว่าปลาทดลองครั้งนี้ (น้ำหนักเฉลี่ยปลาเริ่มต้น 3.51 ± 0.00 กรัมต่อตัว) จึงสังเกตได้ว่าเมื่อปลาทดลองมี ขนาดใหญ่ขึ้นระดับของการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่จะให้ผลส่งเสริมการเจริญเติบโตในการทดแทนโปรตีนปลา ป่นจะมีระดับลดลง (20%) เมื่อเทียบกับผลการศึกษา จีรรัตน์ และคณะ (2555ก) ดังกล่าวข้างต้นที่สามารถ ทดแทนโปรตีนปลาป่นได้ถึง 27% ในปลาทดลองที่มีขนาดเล็กกว่า (น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 1.01 ± 0.00 กรัมต่อ ตัว) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลของ ชูติมา และคณะ (2550) พบว่าการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลา ทูน่าแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 25% ในอาหารปลากะพงขาวน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 3.25 - 3.38 กรัมต่อตัว ให้ผล ส่งเสริมการเจริญเติบโต และมีรายงานว่า การเติมโปรตีนไฮโดรไลเสตลงในอาหารในระดับที่ไม่มากและน้อย เกินไปจะส่งผลให้ปลากินอาหารเพิ่มขึ้น Refstie *et al.* (2004) อ้างตาม ชูติมา และคณะ (2550) ยังพบอีกว่า ปลาแอตแลนติกแซลมอนจะมีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีการเติมโปรตีนไฮโดรไลเสต 10 - 15%

สำหรับผลการเจริญเติบโตของปลาในการทดลองที่ 2 ซึ่งใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตทำแห้งด้วยเทคนิค แบบ SD ศึกษาที่น้ำหนักเฉลี่ยปลาทดลองเริ่มต้น 1.24 ± 0.00 กรัมต่อตัว พบว่าทุกระดับของการใช้โปรตีน ไฮโดรไลเสตแบบ SD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาวไม่ให้เกิดผลส่งเสริมการ เจริญเติบโตของปลาทดลอง ซึ่งขัดแย้งกับผลการเจริญเติบโตของ จีรรัตน์ และคณะ (2555ก) ดังกล่าวนำมาแล้ว ข้างต้น แต่มีผลสอดคล้องกันในด้านอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อ วัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนที่พบว่าระดับ 20% ของการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ในการศึกษา ครั้งนี้ให้ค่าไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม นอกจากนี้ยังสอดคล้องจากรายงานของ ชูติมา และคณะ (2550) กรณีที่ ปลาทดลองมีขนาดเล็กใกล้เคียงกันประมาณ 1.24 ± 0.00 กรัมต่อตัว กล่าวว่าปลาจะมีการย่อยสลายโปรตีนจาก อาหารเพื่อการเจริญเติบโต และเก็บสะสมไว้ในร่างกายบางส่วน โปรตีนส่วนเกินจะถูกขับออกนอกร่างกาย ดังนั้นอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตในระดับสูงปลาจะดูดซึมโปรตีนที่ผ่านการย่อยแล้วได้ดี แต่เนื่องจากมี ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต จึงไม่สามารถนำไปใช้ ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด เพราะจากการทดลองครั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลอัตราการเปลี่ยน

อาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ที่ระดับ 20% ก็ไม่แตกต่างกับสูตรควบคุมแต่ให้ผลการเจริญเติบโตสุดท้ายแตกต่างกับสูตรควบคุม

นอกจากนี้พบว่าเมื่อมีการทดแทนโปรตีนปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ในระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ทั้งการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน อีกทั้งผลการศึกษาของโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ไม่พบการส่งเสริมการเจริญเติบโต และไม่สอดคล้องกับรายงาน จีร์รต์น และคณะ (2555ก) ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งที่มีน้ำหนักเฉลี่ยของปลาทดลองเริ่มต้นใกล้เคียงกัน จึงอาจจะมาจากคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งซึ่งใช้เทคนิคการทำแห้งแบบ SD ทำให้สูญเสียปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นไปบางส่วนดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อนำมาใช้ทดแทนโปรตีนของปลาป่นในระดับที่สูงขึ้นสำหรับอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาว จึงมีผลทำให้คุณภาพของโปรตีนหรือปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตก็อาจมีลดน้อยลงตามคุณภาพโปรตีนหลักจากปลาป่นซึ่งมีปริมาณลดลงตามการแทนที่ในสูตรอาหาร และเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีที่สุด เพราะมีกรดอะมิโนที่สมดุลในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำทั้งยังมีกลิ่นและรสชาติที่สัตว์น้ำชอบ (Lovell, 1989 อ้างตาม ชุตินา และคณะ, 2550) การใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD อาจมีผลทำให้คุณภาพของโปรตีนหรือปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอาจมีไม่เพียงพอ เมื่อเทียบกับคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งซึ่งใช้เทคนิคการทำแห้งแบบ FD (เนื่องจากครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทดลองแต่ละสูตร)

แต่ทั้งนี้ไม่มีข้อสังเกตจากข้อมูลเพิ่มเติมในตารางผนวกที่ 1 พบว่าเมื่อใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ทดแทนโปรตีนปลาป่นที่ระดับ 20% แต่ศึกษาในปลาทดลองที่น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 3.51 ± 0.00 กรัมต่อตัว พบว่าให้ผลส่งเสริมการเจริญเติบโต อีกทั้งอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนได้ดีไม่แตกต่างกับการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ที่ระดับ 20% จึงอาจเป็นไปได้ว่าคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ต่ำลงจากการใช้เทคนิคการทำแห้งแบบ SD อาจมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของปลาขนาดเล็ก แต่ยังคงสามารถใช้ทดแทนโปรตีนปลาป่นได้ดีในอาหารของปลากะพงขาวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีในปลาทดลองทั้งตัวครั้งนี้ของทั้งการทดลองที่ 1 (FD) และ 2 (SD) ให้ผลไปในแนวเดียวกับการศึกษาของ จีร์รต์นและคณะ (2555ก) โดยพบว่าปริมาณโปรตีนและเถ้าในปลาทั้งตัวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับการทดแทนปลาป่น ในขณะที่ปริมาณไขมันและพลังงานมีแนวโน้มลดลงตามระดับการทดแทนปลาป่น สอดคล้องกับรายงานของ เพ็ญศรี และคณะ (2553) ที่ใช้แพลงตอนสัตว์เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100% ในการเลี้ยงปลากะพงขาว พบว่าการสะสมไขมันรวมในปลาทดลองทั้งตัวมีปริมาณลดลงตามการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สัดส่วนของโปรตีนมีปริมาณสูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองครั้งนี้ นอกจากนี้มีรายงานของ de Silva and Anderson (1995) กล่าวว่าไขมันให้ค่าพลังงานต่อหน่วยสูงสุดในบรรดาสารอาหารทั้งหมด และเป็นแหล่งพลังงานสำรองหลัก (The protein-sparing effect) ที่ปลาจะนำไปใช้ก่อนคาร์โบไฮเดรต

จากการทดลองครั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกันว่า เมื่อมีการทดแทนโปรตีนปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตในระดับที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การเจริญเติบโต และแนวโน้มของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการกินอาหารต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีค่าลดลงจึงอาจเกี่ยวเนื่องจากรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีที่สุดเมื่อมีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตในระดับที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของชนิดและปริมาณกรดอะมิโนจึงส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้สังเกตว่าตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตอาหารทดลองที่พบว่าเมื่อมีปริมาณโปรตีนไฮโดรไลเสตในสูตรมากขึ้นต้องลดปริมาณน้ำลงตามลำดับในแต่ละสูตรก่อนที่จะผสมและอัดเม็ดอาหาร เพราะไม่เช่นนั้นส่วนผสมของวัตถุดิบทั้งหมดจะเหนียวมาก พบว่ายิ่งความชื้นมากยิ่งขึ้นความเหนียวทำให้ลำบากในการอัดเม็ด และสังเกตว่าในสูตรอาหารที่มีระดับการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตสูง ปลาทดลองก็จะกินและยอมรับอาหารได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องจากรายงาน

ว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตมีคุณสมบัติเป็นสารเหนียวซึ่งอาจมีคุณสมบัติคล้ายน้ำนิ่งปลา (fish solubles) ที่นิยมผสมในอาหารกุ้งเพื่อเป็นสารเหนียว (ชุตีมา และคณะ, 2546 อ้างตาม อานัส และชุตีมา 2551) นอกจากนี้ อัตราการรอดตายของปลาในการทดลองที่ 1 (FD) จากการศึกษารังนี้มีค่าไม่ต่างกับที่สอดคล้องกับ ชุตีมา และคณะ (2550) ที่พบว่าอัตราการรอดตายสูงใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากปลาที่ใช้ทดลองมีขนาดใหญ่จึงมีการยอมรับอาหารทดลองได้ดี

สำหรับกระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ SD ในครั้งนี้ ต้นทุนวัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งต่อรอบของการหมัก 50 กิโลกรัมของเศษทิ้งกุ้งสดบดต่อ 10 ลิตรของหัวเชื้อ *L. plantarum*, 541 ที่เลี้ยงในน้ำสับปะรด จะได้ผลผลิตน้ำหมักโปรตีน 50 กิโลกรัม และได้ 5 กิโลกรัมของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเทคนิคการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) พบว่าต้นทุนของวัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD เท่ากับ 450 บาทต่อกิโลกรัมของผงโปรตีนไฮโดรไลเสต (ตารางผนวกที่ 2) มีราคาสูงกว่า 356 บาทต่อกิโลกรัมของผงโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตแบบ FD ซึ่งใช้น้ำสับปะรดแทนอาหารเลี้ยงเชื้อเชิงพาณิชย์ในการหมัก (จิรรัตน์ และคณะ, 2555ข) แต่ราคาต่ำกว่า 659 บาทต่อกิโลกรัมของผงโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตแบบ FD ซึ่งใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเชิงพาณิชย์ในการหมัก (จิรรัตน์ และคณะ, 2555ก) เนื่องจากต้นทุนหลักในกระบวนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD จะเป็นค่าใช้จ่ายของกระบวนการทำแห้งซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณตัวอย่าง ถ้ามีปริมาณตัวอย่างเยอะรูปแบบของการผลิตระดับโรงงานหรืออุตสาหกรรมก็จะทำให้ต้นทุนสูงกว่ากระบวนการผลิตที่ยังเป็นต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการทดลอง (Laboratory scale)

สรุป

1. การทดแทนโปรตีนของปลาปนด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ FD ที่ระดับ 20% ในสูตรอาหารสำเร็จรูปเป็นระดับที่เหมาะสมให้ผลส่งเสริมการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลา กะพงขาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 3.51 กรัมต่อตัว
2. การทดแทนโปรตีนของปลาปนด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกุ้งที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ SD ไม่ให้ผลส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลา กะพงขาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 1.24 กรัมต่อตัว แต่ให้ผลส่งเสริมการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายเมื่อใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ทดแทนโปรตีนปลาปนที่ระดับ 20% ในปลา กะพงขาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 3.51 กรัมต่อตัว เช่นเดียวกับการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD

ข้อเสนอแนะ

1. คุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตก็มีผลต่อขนาดของปลา เนื่องจากผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD อาจมีคุณภาพของโปรตีนต่ำกว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD ดังนั้นถ้าเป็นลูกปลา กะพงขาวที่มีขนาดเล็กประมาณ 1 กรัมต่อตัวลงไป เพื่อให้ปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโตควรเลือกใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ FD หรือควรใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ที่ระดับต่ำกว่า 20% ในการทดแทนโปรตีนของปลาปนในอาหารสำเร็จรูปของปลา กะพงขาว
2. เทคนิคการทำแห้งแบบ Freeze-drying ยังเป็นกระบวนการที่เหมาะสมจะใช้กับโปรตีนไฮโดรไลเสตเพื่อรักษาไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการ โครงสร้าง และคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัส (organoleptic) ของผลิตภัณฑ์ แต่ทั้งนี้โดยภาพรวมผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากการทำแห้งด้วยกระบวนการแบบ Freeze-drying และ Spray-drying ก็สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนสำหรับทดแทนปลาปนได้เป็นอย่างดี เพื่อเป็น

ทางเลือกหนึ่ง ในการช่วยลดปริมาณการใช้ปลาปนและพัฒนาสูตรอาหารสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป

3. เทคนิคในการผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเศษทิ้งกุ้งแบบ SD แม้จะมีต้นทุนวัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลสสูงกว่าการใช้เทคนิคแบบ FD เล็กน้อย (เมื่อใช้น้ำสับปะรดในการลดต้นทุน) แต่คุ้มค่ากว่าในด้านปริมาณและเวลาในการผลิตที่สะดวก รวดเร็ว เมื่อเทียบกับการใช้เทคนิคแบบ FD ซึ่งน่าสนใจที่จะนำมาศึกษาเพิ่มเติมในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับทดแทนปลาปนในอาหารสำหรับปลากะพงขาวขนาดใหญ่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายสุพล ต้นสุวรรณ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. 2546. วิธีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. 211 หน้า.
- จิรรัตน์ เกื้อแก้ว, เพ็ญศรี เมืองเยาว์, พิเชต พลายเพชร, มยุรา ประยูรพันธ์ และ สุพิศ ทองรอด. 2555ก. การใช้โปรตีนไฮโดรไลสได้จากเศษทิ้งกุ้งเป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนปลาปนในอาหารปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) สำเร็จรูป. เอกสารวิชาการฉบับที่ 15/2555. สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง : กรมประมง. 25 หน้า.
- จิรรัตน์ เกื้อแก้ว, พิเชต พลายเพชร, ประดิษฐ์ ชนชื่นชอบ และ สุพิศ ทองรอด. 2555ข. การใช้โปรตีนไฮโดรไลสได้จากเศษทิ้งกุ้งเป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนปลาปนในอาหารสำเร็จรูปของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). เอกสารวิชาการฉบับที่ 30/2555. สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง : กรมประมง. 31 หน้า.
- ชุติมา ตันตีกิตติ, มะลิ บุญยรัตลีน และ อัทธา ไชยมงคล. 2546. การศึกษาสถานภาพการวิจัยและพัฒนาอาหารสำหรับกุ้งกุลาดำ. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.
- ชุติมา ตันตีกิตติ, สุภาพร มหันต์กิจ, ไพรัตน์ โสภณธร และ อุดุลย์ แม่เร้าะ. 2550. การใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาปนในอาหารปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch). วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 29(5) : 1321-1340.
- เพ็ญศรี เมืองเยาว์, จิรรัตน์ เกื้อแก้ว, สุพิศ ทองรอด, รุ่งทิวา แพงมี, มยุรา ประยูรพันธ์ และ ทิพาพร บรรจง. 2553. การแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งกักตุนสัตว์ในอาหารปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790). เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2553. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. 15 หน้า.
- อธยา กังสุวรรณ. 2539. โปรตีนจากการหมักแบบต่อเนื่องของเศษเหลือจากกุ้ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2539. สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, กรุงเทพมหานคร : กรมประมง. 22 หน้า.
- อานัส แซะอาหลี และ ชุติมา ตันตีกิตติ. 2551. โปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในปลาที่ผลิตแตกต่างกัน เพื่อเป็นสารดึงดูดการกินอาหารของกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*). วารสารการประมง. 61(1) : 73-80.

- APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th Edition. American Public Health Association, Washington, D. C. 1,268 pp.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 18th Edition, AOAC INTERNATIONAL, Maryland 20877-2417, USA.
- Boonyaratpalin, M., P. Suraneiranat and T. Tunpibal. 1998. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for the Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*. 161 : 67-78.
- Cao, W., C. Zhang, P. Hong and H. Ji. 2008. Response surface methodology for autolysis parameters optimization of shrimp head and amino acids release during autolysis. *Food Chemistry*. 109 : 176-183.
- Cao, W., C. Zhang, P. Hong, H. Ji, J. Hao and J. Zhang. 2009. Autolysis of shrimp head by gradual temperature and nutritional quality of the resulting hydrolysate. *Food Science and Technology*. 42 : 244-249.
- Cordova-Murueta, J. H. and F. L. Garcia-Carreno. 2002. Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed. *Aquaculture*. 210 : 317-384.
- de Silva, S. S. and T. A. Anderson. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Great Britain by St Edmundsbury Press, Bury St Edmunds, Suffolk. 319 pp.
- FAO/WHO. 1973. Energy and protein requirement. Technical Report Series vol. 52. Geneva, Switzerland :WHO. 1-118 pp.
- FAO/WHO/UNU. 1985. Energy and protein requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organization Technical Report Series, 724. Available online at: <http://www.fao.org/DOCREP/003/AA040E/AA040E00.HTM>.
- Hernández, C., M. A. Olvera-Novoa, D. M. Smith, R. W. Hardy and B. Gonzalez-Rodriguez. 2011. Enhancement of shrimp *Litopenaeus vannamei* diets based on terrestrial protein sources via the inclusion of tuna by-product protein hydrolysates. *Aquaculture*. 317 : 117-123.
- Lovell, T. 1989. Nutrition and feeding of fish. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Refstie, S., J. Olli and H. Standal. 2004. Feed intake, growth and protein utilization by post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. *Aquaculture*. 239 : 331-349.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd Edition. Fisheries Board of Canada, Ottawa. 311 pp.
- Wilkinson, L., M. Hill, J. P. Welna and G. K. Birkenbeuel. 1992. SYSTAT for Windows : Statistics, Version 5 Edition. SYSTAT Inc., Evanston, Illinois. 750 pp.

ภาคผนวก

1. การใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ SD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ระดับ 20% ในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาวจากการทดลองที่ 1 (เพิ่มเติม)

แสดงผลการศึกษาจากการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในขณะทำการทดลองที่ 1 (FD) ของชุดทดลองที่ 5 โดยใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแบบ SD ทดแทนโปรตีนของปลาป่นที่ระดับ 20% ในอาหารสำเร็จรูปของปลากะพงขาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 3.51 ± 0.00 กรัมต่อตัว ซึ่งมีผลการเจริญเติบโตเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1

ตารางผนวกที่ 1 ผลการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวในสูตรอาหารเพิ่มเติม (20% SD) เทียบกับชุดทดลองอื่นๆ ในการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	การทดลองที่ 1				
	1 (ควบคุม)	2 (20% FD)	3 (40% FD)	4 (60% FD)	5 (20% SD)
1. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)					
เริ่มต้น ^{ns}	3.51 ± 0.00	3.51 ± 0.00	3.51 ± 0.00	3.51 ± 0.00	3.51 ± 0.00
สุดท้ายที่ 6 สัปดาห์	24.18 ± 1.23^a	22.82 ± 1.28^a	15.45 ± 0.57^b	10.29 ± 1.65^c	24.16 ± 0.90^a
2. น้ำหนักเพิ่ม (%)	588.52 ± 35.19^a	549.78 ± 36.19^a	339.47 ± 16.21^b	193.02 ± 46.86^c	587.78 ± 25.21^a
3. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	4.59 ± 0.12^a	4.45 ± 0.13^a	3.52 ± 0.09^b	2.54 ± 0.39^c	4.59 ± 0.09^a
4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ^{ns}	1.20 ± 0.06	1.18 ± 0.02	1.34 ± 0.10	1.49 ± 0.32	1.19 ± 0.09
5. อัตราการรอดตาย (%) ^{ns}	96.00 ± 5.66^{ns}	94.00 ± 5.16^{ns}	93.00 ± 5.03^{ns}	96.00 ± 3.27^{ns}	96.00 ± 5.66^{ns}
6. อัตราการกินอาหารต่อวัน (%/วัน)	4.26 ± 0.15^a	4.09 ± 0.14^a	3.90 ± 0.16^{ab}	3.35 ± 0.49^b	4.24 ± 0.30^a
7. ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)	1.78 ± 0.06^a	1.79 ± 0.03^a	1.60 ± 0.04^a	1.18 ± 0.19^b	1.82 ± 0.11^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), ^{ns} = non-significant

2. ต้นทุนวัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเทคนิคแบบ SD

วัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกึ่งจากกระบวนการหมักด้วยหัวเชื้อ *L. plantarum*, 541 ที่เตรียมจากน้ำสับปะรดแทนการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเชิงพาณิชย์ MRS broth เพื่อให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตได้ส่วนหนึ่ง และผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกึ่งครั้งนี้ทำให้เป็นผงโปรตีนแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (SD) มีต้นทุนโดยประมาณดังนี้

ตารางผนวกที่ 2 ต้นทุนวัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเศษทิ้งกึ่ง หมักด้วยหัวเชื้อที่เตรียมจากน้ำสับปะรด และทำแห้งเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

รายการ	ราคาต่อหน่วย	ราคารวม (บาท)
เศษทิ้งกึ่งสด (50 กก. เศษทิ้งกึ่งสดต่อรอบการหมัก)	7.0 (บาทต่อกก. เศษทิ้งกึ่งสด)	350.0
น้ำสับปะรด (ผ่านการเจือจางแล้วให้ได้ปริมาตร 10 ลิตรต่อรอบการหมัก)	150.0 (บาทต่อ 10 ลิตร)	150.0
ค่าใช้จ่ายในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้ง แบบพ่นฝอย (Spray dryer) (ประมาณ 50 กก. ของ น้ำหมักต่อรอบการหมัก)	35.0 (บาทต่อกก. น้ำหมัก เป็นราคาจากโรงงาน)	1,750.0
	รวม	2,250.0 (บาทต่อ 5 กิโลกรัมผงโปรตีน)
ต้นทุนวัตถุดิบผงโปรตีนไฮโดรไลเสต ใช้น้ำสับปะรดแทนอาหารเลี้ยงเชื้อเชิง พาณิชย์ MRS broth (Spray dryer)	0.45 (บาทต่อกรัมผงโปรตีน)	450.0 (บาทต่อกิโลกรัมผงโปรตีน)
* ต้นทุนวัตถุดิบผงโปรตีนไฮโดรไลเสต ใช้น้ำสับปะรดแทนอาหารเลี้ยงเชื้อเชิง พาณิชย์ MRS broth (Freeze dryer)	0.4 (บาทต่อกรัมผงโปรตีน)	356.0 (บาทต่อกิโลกรัมผงโปรตีน)
** ต้นทุนวัตถุดิบผงโปรตีนไฮโดรไลเสต ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเชิงพาณิชย์ MRS broth (Freeze dryer)	0.7 (บาทต่อกรัมผงโปรตีน)	659.0 (บาทต่อกิโลกรัมผงโปรตีน)

หมายเหตุ : จากน้ำหมัก 50 กิโลกรัมต่อรอบการหมัก ได้ผลผลิต 5 กิโลกรัมของผงโปรตีนไฮโดรไลเสต

* อ้างตามการศึกษา จีรรัตน์ และคณะ (2555ข)

** อ้างตามการศึกษา จีรรัตน์ และคณะ (2555ก)