

การใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ
เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว
(*Lates calcarifer* Bloch)

ชุตินา ตันติกิตติ¹ สุภาพร มหันต์กิจ² ไพรัตน์ โสภโณดร³ และ อดุลย์ แมะเราะ⁴

Abstract

Tantikitti, C.¹, Mahankij, S.¹, Sophanodora, P.² and Maeros, A.³
Seafood processing by-products as fishmeal replacer in diets for Asian seabass
(*Lates calcarifer* Bloch)
Songklanakar J. Sci. Technol., 2007, 29(5) : 1321-1340

The study consisted of two experiments, Experiment 1, selection of seafood processing by-products as protein sources in aquatic animal diets and Experiment 2, substitution of fish meal by seafood processing by-products in seabass diets.

In Experiment 1, tuna heads, tuna viscera and shrimp heads were processed as meal product and protein hydrolysate. Protein content and essential amino acid composition of tuna visceral meal and tuna

¹Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, ²Department of Food Technology, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand. ³Satun Coastal Fisheries Research and Development Center, Department of Fisheries, Thailand.

¹Ph.D. (Aquatic Animal Nutrition) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ²Ph.D. (Food Technology) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112 ³(B.Sc. Marine Science) ผู้อำนวยการ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจังหวัดสตูล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Corresponding e-mail: chutima.t@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 19 มิถุนายน 2549 รับลงพิมพ์ 15 พฤษภาคม 2550

visceral hydrolysate were higher ($p<0.05$) than those produced from tuna heads and shrimp heads. Tuna head meal gave maximum yield of 24.60% while tuna viscera gave the maximum yield of 20.10% for hydrolysate.

In Experiment 2, three-factor factorial study consisted of types of by-products (tuna viscera and a mixture of tuna viscera and head), product types (meal and hydrolysate) and levels of substitution (0, 25, 50, 75 and 100%) was carried out. Twenty diets were formulated and fed twice daily until satiation to seabass with an average initial weight of 3.25-3.38 g/fish for 10 weeks. Each treatment was composed of 3 replicates in flow-through system with continuous aeration. The results showed that there was no interaction among types of by-products, product types and substitution levels on growth performance, feed intake, feed conversion ratio (FCR), productive protein value (PPV) and survival rate. However, the interaction between product types and substitution levels was statistically significant ($p<0.05$). Regardless of by-products, final weight, weight gain and specific growth rate (SGR) of fish fed meal products and protein hydrolysate at 0 and 25% substitution was significantly higher than those at 50, 75 and 100% substitution. Besides, seabass fed 25% tuna visceral meal substitution diets had higher feed intake than those fed protein hydrolysate. Substitution at 100% resulted in the poorest growth performance and the highest FCR. PPV of fish fed diets containing a mixture of tuna viscera and tuna head at 75 and 100% substitution were significantly the lowest ($p<0.05$). The survival rate was not significantly different among treatments.

The results of this study demonstrated that tuna viscera and a mixture of viscera and head can be used to substitute 25% of fishmeal protein with good growth and feed utilization efficiency comparable to those fed fish meal based diets. Moreover, inclusion of tuna viscera at the stated level increases palatability of the diets.

Key words : seafood processing by-products, fishmeal replacement, Asian seabass diet

บทคัดย่อ

ชุตติมา ตันติกิติติ สุภาพร มหันต์กิจ ไพรัตน์ โสภโณดร และ อุดุลย์ แมะเร้าะ
การใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำเป็นแหล่งโปรตีนทดแทน
ปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch)

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(5) : 1321-1340

การศึกษาประกอบด้วย 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การคัดเลือกวัตถุดิบจากเศษเหลือโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำ และการทดลองที่ 2 การศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำในอาหารปลากะพงขาว ในการทดลองที่ 1 นำหัวปลาทูน่า เครื่องในปลาทูน่า และหัวกุ้งกุลาดำ ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต พบว่าเครื่องในปลาทูน่าให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโปรตีน และองค์ประกอบกรดอะมิโนที่จำเป็นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากหัวปลาทูน่าและหัวกุ้งกุลาดำ ($p<0.05$) ขณะที่ปริมาณผลผลิตในผลิตภัณฑ์ป่นจากหัวปลาทูน่ามีปริมาณผลผลิตสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 24.60% และผลผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณผลผลิตสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 20.10%

การทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลที่มี 3 ปัจจัย ($2 \times 2 \times 5$) ได้แก่ ชนิดของวัตถุดิบ (เครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า) ชนิดของผลิตภัณฑ์ (ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต) และระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่น (0, 25, 50, 75 และ 100%) โดยสร้างสูตรอาหารทดลอง 20 สูตร นำมาเลี้ยงปลากะพงขาวขนาดเริ่มต้นเฉลี่ย 3.25 ถึง 3.38 กรัม/ตัว ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ในระบบน้ำไหลผ่านตลอดและให้อาหารตลอดเวลาให้อาหารจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์ และระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นต่อการเจริญเติบโต น้ำหนักอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้และการรอดตาย แต่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของผลิตภัณฑ์ และระดับการแทนที่ โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต

ที่ระดับ 0 และ 25% มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ระดับ 50, 75 และ 100% ($p < 0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสดแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 100% มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25% มีน้ำหนักอาหารที่กินสูงกว่าการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสด ($p < 0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นที่ระดับ 100% มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด สำหรับโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 75 และ 100% มีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องในและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลากะพงขาวที่ระดับ 25% ของโปรตีนในปลาป่น โดยมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างจากอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก โดยเครื่องในปลาทูน่ามีผลกระทบต่อปลากินอาหารมากขึ้นอีกด้วย

ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch) มีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชีย เช่น ฮองกง อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ สำหรับประเทศไทยมีการเลี้ยงทั้งด้านอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามันมานานกว่า 20 ปี โดยมีการเลี้ยงทั้งในบ่อดินและในกระชัง ซึ่งผลผลิตปลากะพงขาวจากการเลี้ยงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2540 มีผลผลิต 4,090 ตัน (มลฤดี, 2542) และในปี พ.ศ. 2547 มีผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 13,588 ตัน คิดเป็น 90.41% ของผลผลิตจากการเลี้ยงปลาน้ำกร่อยทั้งหมด (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, 2550) โดยการเลี้ยงปลากะพงขาวตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เกษตรกรนิยมใช้ปลาสดและปลาเป็ดเป็นอาหาร ซึ่งมีปริมาณและคุณภาพไม่แน่นอน และมีคุณค่าทางโภชนาการไม่สมดุล ส่งผลให้ปลาที่เลี้ยงอ่อนแอ เป็นโรคร่าง และอัตราการตายสูง อีกทั้งมีผลให้สภาพแหล่งเลี้ยงเสื่อมโทรมและน้ำเน่าเสีย นอกจากนี้การใช้ปลาเป็ดเป็นอาหารในการเลี้ยงปลาเป็นการใช้ทรัพยากรประมงที่ไม่คุ้มค่า เป็นเหตุให้ต้องมีการพัฒนาอาหารสำเร็จรูปที่มีคุณภาพเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลากะพงขาว ทดแทนอาหารสด โดยสารอาหารประเภทโปรตีนมีความสำคัญ และมีราคาแพงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารอาหารประเภทอื่น อาหารปลาโดยทั่วไปจะมีโปรตีนประมาณ 30-60% ของน้ำหนักแห้ง และใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ ซึ่งใช้ที่ระดับประมาณ 20-60% ของอาหาร เนื่องจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีที่สุด เพราะมีกรดอะมิโนที่สมดุลในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ และมีกลิ่นและรสชาติที่สัตว์น้ำชอบ (Lovell, 1989) การผลิตอาหารสำหรับปลา

กินเนื้อโดยส่วนใหญ่จึงใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน โดยในอาหารของปลากะพงยุโรป (European sea bass, *Dicentrarchus labrax*) มีปริมาณปลาป่นประมาณ 77% ของอาหาร (Cahu et al., 1999) ส่วนอาหารสำหรับปลา Atlantic salmon (*Salmo salar*) มีปริมาณปลาป่นประมาณ 66% ของอาหาร (Berge and Storebakken, 1996) แต่ในปัจจุบันเริ่มประสบปัญหาทั้งในเรื่องคุณภาพของปลาป่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของปลา ฤดูกาล และกระบวนการผลิต รวมถึงผลผลิตปลาที่นำมาใช้ผลิตปลาป่นมีปริมาณลดน้อยลงขณะที่ความต้องการใช้มีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปลาป่นมีแนวโน้มหาได้ยากและราคาสูงขึ้น จากสภาวะความต้องการปลาป่นที่เพิ่มขึ้นและความไม่แน่นอนของคุณภาพปลาป่น จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ต้องหาแหล่งโปรตีนอื่นซึ่งไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลา มาทดแทน เพื่อลดปริมาณปลาป่นที่ใช้ในการผลิตอาหารสำเร็จรูป โดยแหล่งโปรตีนที่นำมาทดแทนควรมีคุณภาพดี หาได้ง่าย และมีราคาถูก เพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านอาหาร ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 40-60% ของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Tacon and Jackson, 1985)

โดยทั่วไปการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลานิยมใช้แหล่งโปรตีนจากสัตว์ เช่น เนื้อป่น เลือดป่น หมักป่น และก้างป่น เป็นต้น เนื่องจากโปรตีนจากสัตว์จะมีกรดอะมิโนชนิดจำเป็นในปริมาณที่เหมาะสม และเพียงพอต่อความต้องการของปลามากกว่าแหล่งโปรตีนจากพืช เช่น กากถั่วเหลือง โบกระถินป่น และกากเมล็ดทานตะวัน ในปลาแซลมอน (salmon) มีการศึกษาการใช้เลือดป่น (blood meal) ขนไก่ป่น (feather meal) เนื้อและกระดูกป่น (meat

and bone meal) และวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปไก่ (poultry by-product meal) ทดแทนปลาป่น (Bureau et al., 1999) สำหรับในปลาชนิด El-Sayed (1998) พบว่า เนื้อและกระดูกป่น และผลพลอยได้จากสัตว์ปีกป่นสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้ทั้งหมด (100%) นอกจากนี้ Stone และคณะ (2000) พบว่า สามารถใช้เนื้อป่นแทนที่ปลาป่นได้ถึง 50% ในอาหารปลา Silver perch และสามารถทดแทนปลาป่นได้บางส่วนในอาหารสำหรับปลากะพงขาว ปลา gilthead sea bream ปลา yellowtail และปลา rainbow trout

ประเทศไทยมีการผลิตอาหารทะเลทั้งเพื่อการส่งออกและการบริโภคในประเทศในปริมาณสูง โดยในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าประมงในกลุ่มกุ้ง ปลา และปลาหมึกแปรรูปประมาณ 971,477 ตัน มูลค่า 128,967 ล้านบาท (สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย, 2550) โดยการผลิตและส่งออกปลาหมึกบรรจุกระป๋องในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณ 373,981 ตัน มูลค่า 36,367 ล้านบาท (สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2550) สำหรับผลิตภัณฑ์กุ้ง ในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณ 275,086 ตัน มูลค่า 70,260 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเป็น 305,806 ตัน มูลค่า 76,035 ล้านบาท (สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย, 2550) จากแนวโน้มการขยายตัวของอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ ทั้งปลาหมึกบรรจุกระป๋อง และผลิตภัณฑ์กุ้งที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณของวัสดุเศษเหลือเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากขั้นตอนการแปรรูปปลาที่มีวัสดุเศษเหลือต่างๆ ได้แก่ หัวปลา เครื่องในปลา กระดูก หนังและเศษเนื้อดำ ประมาณร้อยละ 25-30 ของวัตถุดิบทั้งหมดโดยเป็นหัวและเครื่องในประมาณร้อยละ 10 (อารยา, 2536) ในขณะที่อุตสาหกรรมกุ้งแช่เยือกแข็งก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือประมาณร้อยละ 37 โดยมีหัวกุ้งเป็นองค์ประกอบหลัก (Bhuwaphathapun, 1996 อ้างโดย ไตรตะวัน, 2542) วัสดุเศษเหลือเหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็นในปริมาณสูง (Shahidi et al., 1995) จึงมีศักยภาพในการเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลาได้ ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ อันก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตปลากะพงขาวของเกษตรกรต่อไป

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและผลิตภัณฑ์ และระดับที่เหมาะสมของวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำในการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว

วิธีการศึกษา

1. การคัดเลือกวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำในการนำไปใช้ทดแทนปลาป่น

1.1 วัตถุดิบ

วัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ หัวปลาทูน่า เครื่องในรวมปลาทูน่า (จากบริษัททรอปิคอลแคนนิ่ง จำกัด จ.สงขลา) และหัวกุ้งกุลาดำ (จากบริษัทห้องเย็นโซติวัฒน์ จำกัด จ.สงขลา) โดยนำวัตถุดิบมาล้างทำความสะอาด ทำให้สะอาด น้ำ บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนถุงละ 1 กก. นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมันและเถ้า ตามวิธีของ AOAC (1980)

1.2 การเตรียมเศษเหลือป่น

นำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดเนื้อ นำไปนึ่งให้สุกที่อุณหภูมิ $85-90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปหมუნเหวี่ยงด้วยเครื่องหมუნเหวี่ยงเพื่อแยกเอาน้ำออกและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ $60-70^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียด แล้วจึงเก็บใส่ถุงพลาสติกและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C

1.3 การเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสต

นำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ นำมาผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์ในอัตราส่วน 1:1 (ทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์) ปรับพีเอชให้เท่ากับ 8.0 จากนั้นเติมเอนไซม์อัลคาเลส 1.5% ของปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง นำไปย่อยสลายที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วหยุดการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 นาที นำไปหมუნเหวี่ยงด้วยเครื่องหมუნเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที นำไปคั่งน้ำออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศจนผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะข้นแล้วจึงเก็บใส่ถุงพลาสติกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ

-20°C

1.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำตัวอย่างเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสดไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 1980) สำหรับองค์ประกอบกรดอะมิโน ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

1.6 การคัดเลือกวัตถุดิบเพื่อนำไปใช้แทนที่ปลาป่น

คัดเลือกวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีลำดับที่ 1 และ 2 เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในการทดลองที่ 2 โดยพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบกรดอะมิโน และปริมาณผลผลิต ซึ่งเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสดที่มีคุณภาพดีลำดับที่ 1 เป็นผลิตภัณฑ์จากเครื่องในปลาทูน่า โดยจะนำไปใช้แทนโปรตีนชนิดที่ 1 สำหรับวัตถุดิบที่มีคุณภาพลำดับที่ 2 ได้แก่ หัวปลาทูน่า ซึ่งจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมกับเครื่องในปลาทูน่าในอัตราส่วนเครื่องใน 2 ส่วน : หัวปลา 1 ส่วน ในการผลิตแหล่งโปรตีนชนิดที่ 2

2. การศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยวัสดุเศษเหลือในอาหารปลากะพงขาว

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2x2x5 แฟคตอเรียล โดยใช้แผนการสุ่มบริบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ชนิดของวัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องในปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า ชนิดของผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ เศษเหลือป่น และโปรตีนไฮโดรไลเสด และระดับการแทนที่ในอาหาร 5 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75 และ 100% โดยในแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ

2.2 การเตรียมเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสด

เตรียมผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสดตามวิธีในข้อ 1.1, 1.2 และ 1.3 โดยใช้วัตถุดิบ 2 ชนิดชนิดที่ 1 ได้แก่ เครื่องในปลาทูน่า ชนิดที่ 2 ได้แก่ ส่วน

ผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าในอัตราส่วน 2:1 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ใส่ถุงพลาสติกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการนำไปผสมในอาหาร

2.3 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ทดลองเป็นอาหารเม็ดแห้ง 20 สูตรตามแผนการทดลองในข้อ 2.1 โดยทุกสูตรมีระดับโปรตีนประมาณ 40% และไขมันประมาณ 12% อาหารสูตรควบคุม (สูตรที่ 1, 6, 11 และ 16) มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก อาหารสูตรที่ 2, 3, 4, 5 มีเครื่องในปลาทูน่าป่นแทนที่โปรตีนจากปลาป่น อาหารสูตรที่ 7, 8, 9, 10 มีโปรตีนไฮโดรไลเสดจากเครื่องในปลาทูน่าแทนที่โปรตีนจากปลาป่น อาหารสูตรที่ 12, 13, 14, 15 มีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นแทนที่โปรตีนจากปลาป่น และอาหารสูตรที่ 17, 18, 19, 20 มีโปรตีนไฮโดรไลเสดจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 25, 50, 75 และ 100% โดยองค์ประกอบของอาหารสูตรควบคุมและสูตรที่มีการแทนที่ที่ระดับ 100% (สูตรที่ 5, 10, 15 และ 20) แสดงใน Table 1

ซึ่งส่วนผสมของอาหารแต่ละชนิดและผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร (Hobart mixer) อัดเม็ดอาหารให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง นำไปบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและเก็บในถุงดำเพื่อป้องกันแสง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการใช้งาน นำอาหารทุกสูตรวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีตามวิธีการของ AOAC (1980)

2.4 การเตรียมปลาทดลอง

อนุบาลปลากะพงขาวน้ำหนักเฉลี่ย 0.5 กรัม/ตัว จำนวน 2,000 ตัว ในถังไฟเบอร์กลาสทรงกลมขนาดความจุ 1 ตัน ในน้ำความเค็มประมาณ 28-30 ส่วนในพัน และให้ออกซิเจนตลอดเวลา โดยให้อาหารสำเร็จรูปเป็นเวลา 30 วัน เพื่อฝึกให้ปลาเคยชินกับอาหารสำเร็จรูป จากนั้นคัดปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3.0 กรัม จำนวน 30 ตัว มาใส่ตู้ทดลองที่มีความจุน้ำประมาณ 100 ลิตร จำนวน 60 ตู้ แล้วฝึกให้ปลาคุ่นเคยกับสภาพแวดล้อมและอาหารทดลอง โดยให้อาหารจนปลาอิ่มวันละ 2 มื้อ ใช้เวลาประมาณ 10 วัน จากนั้นคัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันให้เหลือจำนวน 20 ตัว/ตู้ ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นโดยชั่งน้ำหนักรวม ก่อนชั่งสลับปลาด้วย 2-phenoxyethanol (ความเข้มข้น 0.5 มล./น้ำ 1 ลิตร)

Table 1. Composition of the control (diet 1) and experimental diets with tuna visceral meal, tuna visceral hydrolysate, tuna viscera and head meal and tuna viscera and head hydrolysate substituting 100% of fish meal protein

| Ingredients (g/100 g) | Diet | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Fish meal (63 % protein) | 56 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tuna visceral meal | - | 58 | - | - | - |
| Tuna visceral hydrolysate ¹ | - | - | 45 | - | - |
| Tuna viscera and head meal | - | - | - | 61 | - |
| Tuna viscera and head hydrolysate ¹ | - | - | - | - | 49 |
| Shrimp head meal | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Rice bran | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Fish oil | 4 | 2 | 7 | 4 | 7 |
| Vitamin premix ² | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Mineral premix ³ | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| BHT | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Tapioca starch | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Rice flour | 4.70 | 4.80 | 6.70 | 4.28 | 7.5 |
| Ground rice hull | 5.08 | 4.98 | 11.08 | 0.50 | 6.28 |
| Proximate composition ⁴ | | | | | |
| Protein | 42.48 | 43.23 | 42.97 | 42.67 | 42.55 |
| Lipid | 12.10 | 11.93 | 11.11 | 12.79 | 13.59 |
| Carbohydrate | 25.56 | 27.83 | 32.58 | 22.55 | 30.42 |
| Ash | 19.86 | 17.01 | 13.34 | 21.99 | 13.44 |
| Gross energy ⁵ (calories/100g) | 408.61 | 408.51 | 406.28 | 408.11 | 408.64 |

¹ Dehydrated products

² Vitamin premix (mg/kg of diet) : Thiamin HCl 60 , Riboflavin 100, Pyridoxine HCl 40, Choline chloride 5,000, Niacin 400, Ca-Pantothenate 100, Ascorbic acid 500, Inositol 2,000, Biotin 6, Folic acid 15, Vitamin B₁₂ 0.1, Menadione 50, Tocopherol acetate 100, Vitamin AD₃ (500 IU of A+100 IU of D₃/mg) 8.

³ Mineral premix (g/ kg of diet) : CaHPO₄ 8, NaH₂PO₄ 2H₂O 15, KH₂PO₄ 10, KCl 5.

⁴ From proximate analysis

⁵ Calculated values (calories/100g) using caloric values for protein, lipid and carbohydrate according to NRC (1993)

และเก็บตัวอย่างปลาจำนวน 50 ตัว เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาเมื่อเริ่มการทดลองตามวิธีของ AOAC (1980)

2.5 ระบบเลี้ยง

ระบบน้ำเป็นระบบเปิด น้ำมีความเค็ม 28-30 ส่วนในพัน พีเอช 7.80-8.45 โดยให้ออกซิเจนตลอดเวลา เพื่อให้มีออกซิเจนละลายในน้ำประมาณ 6-7 มก./ลิตร ทำความสะอาดตู้ทดลองทุกวัน ตรวจวัดความเค็มของน้ำโดยใช้ Refracto Salinometer ความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำโดย DO meter ทุกวัน เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972) ทุกสัปดาห์

2.6 การศึกษาการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหาร

ให้อาหารตามชุดการทดลองและซ้ำที่สุ่มตัวอย่างไว้ โดยให้อาหารจนอิ่มวันละ 2 มื้อ เวลา 09.00 น. และเวลา 15.00 น. เป็นเวลา 10 สัปดาห์ และบันทึกน้ำหนักอาหารที่กินทุกวัน ระหว่างการเลี้ยงชั่งน้ำหนักปลาทุก 2

สัปดาห์ ด้วยเครื่องซังไฟฟ้าชนิด 2 ตำแหน่ง โดยซังน้ำหนักรวมของปลาแต่ละตู้ ในช่วง 2 สัปดาห์แรก และซังน้ำหนักปลาแต่ละตู้ในแต่ละตู้ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ถึงสิ้นสุดการทดลอง สังเกตพฤติกรรมและอาการผิดปกติของปลาในแต่ละตู้ทดลองทุกวัน หากมีอาการผิดปกติจะนำไปตรวจเชื้อแบคทีเรียและปรสิต บันทึกจำนวนปลาที่ผิดปกติและตายในแต่ละชุดการทดลองตลอดการศึกษา

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซังน้ำหนักปลาแต่ละตู้ในแต่ละตู้ นับจำนวนปลาที่เหลือและสังเกตอาการปลาพร้อมทั้งจดบันทึกและเก็บตัวอย่างปลาจากทุกชุดการทดลองจำนวน 5 ตัว/ตู้ เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 1980) นำข้อมูลในแต่ละชุดการทดลองมาคำนวณการรอดตาย (survival rate) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม (% weight gain) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (productive protein value, PPV) (Steffens, 1989)

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ มาหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test

ผลการศึกษา

1. วัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดแทนปลาป่น

เครื่องในปลาทูน่า หัวปลาทูน่า และหัวกุ้งกุลาดำ ที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการศึกษามีองค์ประกอบทางเคมีโดยน้ำหนักแห้ง คือ ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 56.24 42.90 และ 53.35% ปริมาณไขมัน เท่ากับ 26.33 35.89 และ 10.71% และปริมาณเถ้า เท่ากับ 10.94 17.95 และ 29.54% ตามลำดับ

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเศษเหลือป่น

องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเศษเหลือป่นที่

ผลิตจากเครื่องในปลาทูน่า หัวปลาทูน่า และหัวกุ้งกุลาดำ ดังแสดงใน Table 2 พบว่า เครื่องในปลาทูน่าป่นมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 63.99% รองลงมาคือ หัวปลาทูน่าป่นเท่ากับ 47.10% และหัวกุ้งกุลาดำป่นมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดเท่ากับ 34.61% สำหรับปริมาณไขมัน พบว่า หัวปลาทูน่าป่นมีปริมาณไขมันสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 28.54% ขณะที่เครื่องในปลาทูน่าป่นและหัวกุ้งกุลาดำป่นมีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกัน ส่วนปริมาณเถ้า พบว่าหัวกุ้งกุลาดำป่นมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 34.84% รองลงมาคือ หัวปลาทูน่าป่นเท่ากับ 21.31% และเครื่องในปลาทูน่าป่นมีปริมาณเถ้าต่ำที่สุดเท่ากับ 4.62%

1.2 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนไฮโดรไลเสต

องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากเครื่องในปลาทูน่า หัวปลาทูน่า และหัวกุ้งกุลาดำ ดังแสดงใน Table 2 พบว่าไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 86.56% รองลงมาคือไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำเท่ากับ 82.06% และหัวปลาทูน่ามีปริมาณโปรตีนต่ำสุดเท่ากับ 77.81% ปริมาณไขมัน พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำมีปริมาณไขมันสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 8.21% และเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณไขมันต่ำที่สุดเท่ากับ 2.52% ส่วนปริมาณเถ้า พบว่าไฮโดรไลเสตจากหัวปลาทูน่ามีปริมาณสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 12.73% และไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณเถ้าต่ำที่สุดเท่ากับ 7.66%

1.3 ปริมาณผลผลิตของวัสดุเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต

ปริมาณผลผลิตของเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเครื่องในปลาทูน่า หัวปลาทูน่า และหัวกุ้งกุลาดำดังใน Table 2 พบว่าหัวปลาทูน่าเป็นผลิตภัณฑ์ป่นที่มีผลผลิตสูงที่สุด ($p < 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตพบว่าเครื่องในปลาทูน่าให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าหัวปลาทูน่าและหัวกุ้งกุลาดำ ($p < 0.05$)

1.4 องค์ประกอบกรดอะมิโนของวัสดุเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต

องค์ประกอบกรดอะมิโนในวัสดุเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตดังใน Table 2 พบว่าเครื่องในปลาทูน่าป่นมีกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกชนิดในปริมาณสูงกว่าหัวปลาทูน่าป่น และหัวกุ้งป่น โดยเฉพาะอาร์จินีนมีปริมาณสูงถึง

Table 2. Proximate composition¹ (% dry matter basis), yields and amino acid composition (% as-fed basis) of seafood processing by-products after processing into meal and hydrolysate

| | Meal | | | Hydrolysate | | | Fish meal ³ |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | Tuna viscera | Tuna head | <i>P. monodon</i> head | Tuna viscera | Tuna head | <i>P. monodon</i> head | |
| Proximate composition | | | | | | | |
| Protein | 63.99±0.61 ^a | 47.10±0.23 ^b | 34.61±0.31 ^c | 86.56±0.26 ^a | 77.81±0.97 ^c | 82.06±0.46 ^b | |
| Lipid | 25.70±0.42 ^a | 28.54±1.43 ^b | 26.07±1.50 ^a | 2.52±0.07 ^c | 5.56±0.41 ^b | 8.21±0.47 ^a | |
| Ash | 4.62±0.77 ^c | 21.31±0.18 ^b | 34.84±0.28 ^a | 7.66±0.07 ^c | 12.73±0.06 ^a | 8.35±0.21 ^b | |
| Moisture ² | 6.01±0.28 ^a | 5.35±0.57 ^a | 4.66±0.57 ^a | 93.14 ±0.47 ^a | 92.04±0.64 ^a | 94.27±0.04 ^a | |
| Yield | 12.60±0.14 ^b | 24.60±0.14 ^a | 13.20±0.42 ^b | 20.10±0.14 ^a | 17.20±0.28 ^b | 10.00±0.28 ^c | |
| Essential amino acid | | | | | | | |
| Arginine | 5.32 | 2.91 | 2.17 | 4.04 | 3.53 | 3.38 | 3.40 |
| Histidine | 2.02 | 1.74 | 1.69 | 1.93 | 2.26 | 2.06 | 1.21 |
| Isoleucine | 2.04 | 1.49 | 1.33 | 2.20 | 1.59 | 2.30 | 2.50 |
| Leucine | 3.35 | 2.67 | 1.79 | 3.36 | 2.90 | 3.37 | 4.05 |
| Lysine | 2.14 | 1.82 | 0.63 | 2.33 | 2.63 | 2.16 | 4.00 |
| Phenylalanine | 2.79 | 2.35 | 2.67 | 2.80 | 2.26 | 3.30 | nr |
| Threonine | 2.43 | 1.95 | 1.48 | 2.59 | 2.18 | 2.38 | 2.29 |
| Valine | 2.30 | 1.75 | 1.43 | 2.52 | 1.94 | 2.67 | 2.85 |
| Non-essential amino acid | | | | | | | |
| Alanine | 2.37 | 2.37 | 1.49 | 2.49 | 2.84 | 3.59 | nr |
| Aspartic acid | 2.49 | 3.15 | 1.73 | 3.18 | 2.95 | 2.92 | nr |
| Glycine | 2.67 | 3.15 | 2.09 | 2.85 | 3.20 | 3.50 | 4.00 |
| Glutamic acid | 3.88 | 4.25 | 2.96 | 4.85 | 5.09 | 6.29 | nr |
| Proline | 1.99 | 2.07 | 1.49 | 2.22 | 1.93 | 2.83 | nr |
| Serine | 2.13 | 1.71 | 1.22 | 2.39 | 1.68 | 1.69 | nr |
| Tyrosine | 2.68 | 2.03 | 2.33 | 2.22 | 1.88 | 2.44 | nr |
| Total EAA | 22.39 | 16.77 | 13.29 | 21.75 | 19.29 | 21.62 | |
| Total NEAA | 18.17 | 18.72 | 13.31 | 20.20 | 19.57 | 23.21 | |

¹ Values are means±SD of three replicates, means within the same row under the same product sharing the same superscript are not significantly different (p>0.05)

² Hydrolysate moisture is of products before dehydration,

³ The Thai Fishmeal Producers Association (2544), nr = no report

5.32% (as-fed basis) และสูงกว่าในปลาป่นซึ่งมีปริมาณเพียง 3.4% นอกจากนี้ฮีสติดีนและทรีโอนีนก็มีปริมาณสูงกว่าในปลาป่น แต่ไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน และวาเลีนในเครื่องในปลาทუნ่ามีปริมาณต่ำกว่าในปลาป่น สำหรับหัวปลาทუნ่าและหัวกุ้งมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่ำกว่าในปลาป่น ยกเว้นฮีสติดีนที่มีในระดับที่สูงกว่า

สำหรับผลิตภัณฑ์ไฮโดรไลเสตพบว่าองค์ประกอบกรดอะมิโนที่จำเป็นส่วนใหญ่ของเครื่องในปลาทუნ่ามีปริมาณใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ปลาป่น ยกเว้นอาร์จินีนที่มีปริมาณลดลง ส่วนไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากหัวปลาทუნ่าและหัวกุ้งกุลาดำมีปริมาณกรดอะมิโนทั้งชนิดจำเป็นและไม่จำเป็นเพิ่มสูงขึ้น

ในส่วนของกรดอะมิโนไม่จำเป็นชนิดที่มีปริมาณสูงที่สุดในทุกตัวอย่าง ได้แก่ กรดกลูตามิก กรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นที่มีปริมาณสูงรองลงมา ได้แก่ ไกลซีน กรดแอสพาร์ติก และอะลานีน

1.5 ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำ

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีน องค์ประกอบกรดอะมิโน และปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์ พบว่า วัสดุเศษเหลือปลา และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทუნ่าให้ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์สูงที่สุดเท่ากับ 63.99 และ 86.56% ตามลำดับ รองลงมาคือหัวปลาทუნ่าโดยมีปริมาณ

โปรตีนเท่ากับ 47.10 และ 77.81% ตามลำดับ องค์ประกอบกรดอะมิโนในเครื่องในปลาทูน่าป่นและโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในปลาทูน่า ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ ฮีสติดีน อาร์จินีน ทรีโอนีน ไลซีน วาลีน ไอโซลูซีน ลูซีน และฟีนิลอะลานีน ส่วนปริมาณผลผลิตวัสดุเศษเหลือป่นและโปรตีนไฮโดรไลสจะมีปริมาณผลผลิตสูงเมื่อผลิตจากหัวปลาทูน่า รองลงมาคือเครื่องในปลาทูน่า ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องในปลาทูน่าและหัวปลาทูน่าเป็นวัตถุดิบในการผลิตแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในการทดลองที่ 2 โดยวัตถุดิบชนิดที่ 1 คือเครื่องในปลาทูน่า และชนิดที่ 2 คือส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า โดยผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่น และโปรตีนไฮโดรไลส

2. การศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยวัสดุเศษเหลือในอาหารปลากะพงขาว

2.1 องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนของอาหาร

อาหารทดลองมีโปรตีนอยู่ในช่วง 42-44% ไขมันอยู่ในช่วง 11-14% ขณะที่ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 13-22% (Table 1) โดยอาหารสูตรที่ 2-5 และ 7-10 ซึ่งมีเครื่องในปลาทูน่าป่นและโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในปลาทูน่าแทนที่ปลาป่นมีปริมาณเถ้าลดลงเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับอาหารสูตรที่ 17-20 ซึ่งมีปริมาณเถ้า

ลดลงเมื่อระดับโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในและหัวปลาทูน่าเพิ่มขึ้น ขณะที่สูตรที่ 12-15 ซึ่งมีเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นจะมีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณองค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารทดลองที่มีวัสดุเศษเหลือโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำแทนที่โปรตีนจากปลาป่น ดังแสดงใน Table 3 พบว่าอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นมีปริมาณไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน ทรีโอนีน และวาลีน ในอาหารน้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมที่ทุกระดับการแทนที่ ขณะที่อาร์จินีนและฮีสติดีนมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการแทนที่สูงขึ้น โดยอาหารสูตรที่แทนที่ด้วยเครื่องในป่นและส่วนผสมของเครื่องในและหัวป่นที่ระดับ 100% มีอาร์จินีนเท่ากับ 3.41 และ 3.01% ของโปรตีน ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณฮีสติดีนซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 1.30 และ 1.31% ของโปรตีนตามลำดับ เนื่องจากในปลาป่นมีปริมาณของกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดต่ำกว่าในเศษเหลือป่น แต่อาหารสูตรที่แทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ไฮโดรไลสที่มีปริมาณอาร์จินีนในอาหารลดน้อยลงและมีระดับต่ำกว่าสูตรควบคุมและที่แทนที่ด้วยเศษเหลือป่นสำหรับระดับฮีสติดีนในอาหารที่แทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในปลาทูน่ามีระดับใกล้เคียงกันทุกระดับการแทนที่ ส่วนการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลสได้จากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2.2 การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยทุก 2 สัปดาห์ของปลากะพงขาวที่

Table 3. Essential amino acid composition of diets (% of protein) with tuna visceral meal, tuna visceral hydrolysate, tuna viscera and head meal and tuna viscera and head hydrolysate replacing fish meal at different levels

| Essential amino acid | Fishmeal based diet ¹ | Tuna visceral meal | | | | | Tuna visceral hydrolysate | | | | Tuna viscera and head meal | | | | Tuna viscera and head hydrolysate | | | |
|----------------------|----------------------------------|--------------------|------|------|------|------|---------------------------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|
| | | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 25% | 50% | 75% | 100% | 25% | 50% | 75% | 100% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Arginine | 2.32 | 2.58 | 2.79 | 3.06 | 3.41 | 2.23 | 2.17 | 2.08 | 1.99 | 2.48 | 2.69 | 2.85 | 3.01 | 2.20 | 2.08 | 2.01 | 1.89 | |
| Histidine | 0.83 | 0.94 | 1.03 | 1.15 | 1.30 | 0.85 | 0.89 | 0.92 | 0.95 | 0.94 | 1.08 | 1.20 | 1.31 | 0.88 | 0.95 | 1.03 | 1.11 | |
| Isoleucine | 1.70 | 1.60 | 1.48 | 1.38 | 1.31 | 1.54 | 1.41 | 1.25 | 1.08 | 1.59 | 1.49 | 1.37 | 1.25 | 1.55 | 1.38 | 1.25 | 1.07 | |
| Leucine | 2.76 | 2.60 | 2.41 | 2.25 | 2.15 | 2.48 | 2.24 | 1.95 | 1.65 | 2.59 | 2.46 | 2.29 | 2.12 | 2.51 | 2.23 | 2.02 | 1.72 | |
| Lysine | 2.73 | 2.39 | 2.02 | 1.68 | 1.37 | 2.33 | 1.97 | 1.57 | 1.14 | 2.39 | 2.07 | 1.72 | 1.38 | 2.39 | 2.01 | 1.72 | 1.31 | |
| Threonine | 1.56 | 1.56 | 1.53 | 1.52 | 1.55 | 1.48 | 1.43 | 1.35 | 1.27 | 1.55 | 1.56 | 1.55 | 1.54 | 1.50 | 1.43 | 1.39 | 1.32 | |
| Valine | 1.94 | 1.82 | 1.68 | 1.56 | 1.47 | 1.76 | 1.61 | 1.43 | 1.24 | 1.83 | 1.75 | 1.64 | 1.53 | 1.77 | 1.58 | 1.45 | 1.25 | |

¹ Amino acid composition of fish meal reported by The Thai Fishmeal Producers Association (2544) was used to calculate the levels in experimental diets. Methionine, phenylalanine and tryptophan were absent from the report, therefore they were not calculated.

ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าในลักษณะผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต ดังแสดงใน Figure 1 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100% มีการเจริญเติบโตและน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายน้อยที่สุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 9.13 และ 8.86 กรัม/ตัว ตามลำดับ รองลงมาคือโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 75% ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นที่ระดับ 100% และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 75% โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายเท่ากับ 11.72, 11.90 และ 12.87 กรัม/ตัว ตามลำดับ

น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 20 สูตร ดังแสดงใน Table 4 พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักและอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 25% มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงใกล้เคียงกัน โดยชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์ และระดับการแทนที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (3

factor interaction) คือน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ($p > 0.05$) แต่ชนิดของวัตถุดิบมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ($p < 0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่ามีการเจริญเติบโตดีกว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมเครื่องในและหัวปลาทูน่า (Figure 2) และเมื่อนำวัสดุเศษเหลือไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดคือ ผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต และแทนที่ที่ระดับต่างๆ พบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่ที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเจริญเติบโต (Table 5) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 25% มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (18.70 ± 1.68 , 18.73 ± 1.67 กรัม/ตัว) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (454.41 ± 42.85 , $463.45 \pm 47.63\%$) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (2.04 ± 0.09 , $2.06 \pm 0.10\%/วัน$) ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) จากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (แทนที่ 0%) แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่แทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 50% มีน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ป่นที่ระดับ 75% มีการเจริญ

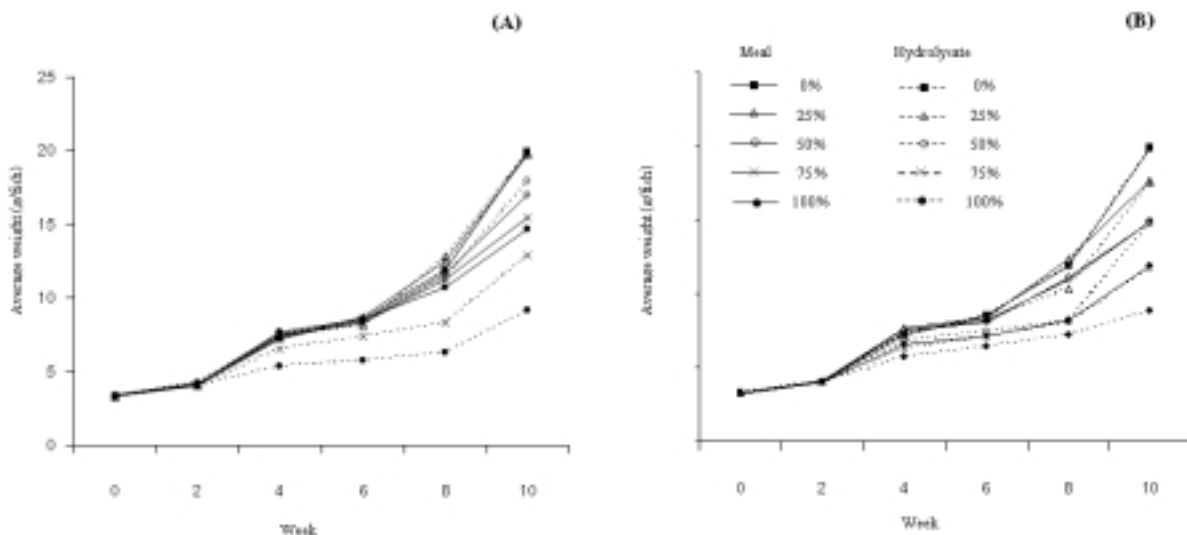


Figure 1. Average body weight measured every two weeks for 10 weeks of seabass fed diet with tuna viscera (A) and a mixture of tuna viscera and head (B) either as meal and hydrolysate substituted for fishmeal at different levels.

Table 4. Average final weight, weight gain (%) and specific growth rate (SGR) of seabass fed diets with tuna processing by-products processed into meal and hydrolysate replacing fishmeal at different levels¹

| Tuna by-products ² | Product type ³ | Replacement level (%) | Final weight (g/fish) | Weight gain (%) ⁴ | SGR (%/day) ⁵ |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 0 | 19.94±1.73 | 492.92±59.33 | 2.12±0.12 |
| 1 | 1 | 25 | 19.72±1.96 | 483.21±44.16 | 2.10±0.09 |
| 1 | 1 | 50 | 16.99±1.59 | 412.00±50.03 | 1.94±0.12 |
| 1 | 1 | 75 | 15.42±1.80 | 359.53±53.41 | 1.81±0.14 |
| 1 | 1 | 100 | 14.68±1.24 | 338.95±40.37 | 1.76±0.11 |
| 1 | 2 | 0 | 19.94±1.73 | 492.92±59.33 | 2.12±0.12 |
| 1 | 2 | 25 | 19.84±1.47 | 496.81±39.89 | 2.13±0.08 |
| 1 | 2 | 50 | 17.92±0.47 | 448.05±13.27 | 2.02±0.03 |
| 1 | 2 | 75 | 12.87±0.90 | 297.13±39.45 | 1.64±0.11 |
| 1 | 2 | 100 | 9.13±0.75 | 178.38±32.67 | 1.21±0.14 |
| 2 | 1 | 0 | 19.94±1.73 | 492.92±59.33 | 2.12±0.12 |
| 2 | 1 | 25 | 17.68±0.34 | 425.61±12.30 | 1.98±0.03 |
| 2 | 1 | 50 | 14.96±0.58 | 348.43±20.06 | 1.78±0.06 |
| 2 | 1 | 75 | 14.95±0.96 | 352.96±37.53 | 1.80±0.10 |
| 2 | 1 | 100 | 11.90±0.89 | 260.75±29.68 | 1.53±0.10 |
| 2 | 2 | 0 | 19.94±1.73 | 492.92±59.33 | 2.12±0.12 |
| 2 | 2 | 25 | 17.60±1.04 | 430.09±27.25 | 1.98±0.06 |
| 2 | 2 | 50 | 14.86±0.49 | 351.33±21.46 | 1.79±0.06 |
| 2 | 2 | 75 | 11.72±1.20 | 253.95±35.71 | 1.50±0.12 |
| 2 | 2 | 100 | 8.86±0.35 | 165.52±12.83 | 1.16±0.06 |
| ANOVA | | | P>F | | |
| Tuna by-products (B) | | | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| Product types (P) | | | 0.0002 | 0.0014 | 0.0001 |
| Replacement level (L) | | | 0.009 | 0.0001 | 0.0001 |
| B*P | | | 0.825 | 0.898 | 0.876 |
| B*L | | | 0.122 | 0.15 | 0.175 |
| P*L | | | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| B*P*L | | | 0.469 | 0.551 | 0.408 |

¹Values are means ± SD of three replicates

²1 = Tuna viscera; 2 = Tuna viscera and head (2:1)

³1 = Meal; 2 = Hydrolysate

⁴Weight gain (%) = [Final weight (g/fish) - Initial weight (g/fish)] x 100/ Initial weight (g/fish)

⁵Specific growth rate = (ln w₂-ln w₁)x100/days; w₁ = initial weight, w₂ = final weight

เติบโตไม่แตกต่างจากการแทนที่ระดับ 50% และมีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่แทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลสที่ระดับ 75 และ 100% อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ปลาป่น 100% มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่แทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลสที่ระดับ 75% โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลสเป็นแหล่งโปรตีน 100% มีน้ำหนักสุดท้าย

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุด (p<0.05)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์จากเศษเหลือปลาทูน่าที่ระดับต่างๆ พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (Figure 3) คือเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต

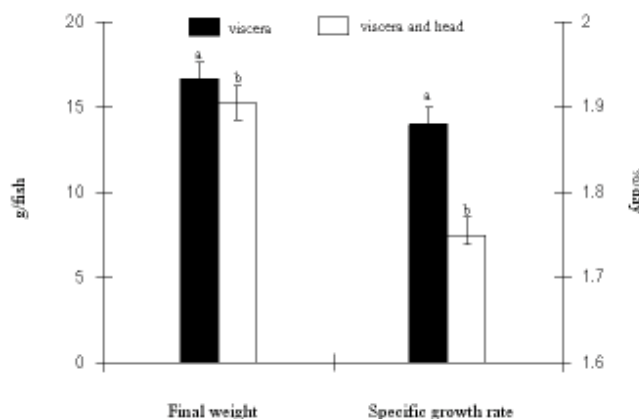


Figure 2. Mean final weight and specific growth rate of seabass fed diets with tuna viscera and a mixture of tuna viscera and head replacing fish meal, means under the same parameter with different letters are significantly different (p<0.05)

Table 5. Interaction between product types and replacement levels on average final weight, weight gain (%) and specific growth rate of seabass fed diets with tuna processing by-products¹

| Product type ² | Replacement level (%) | Final weight (g/fish) | Weight gain (%) ³ | Specific growth rate (%/day) ⁴ |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|---|
| 1 | 0 | 19.94±1.55 ^a | 492.92±53.07 ^a | 2.12±0.10 ^a |
| 1 | 25 | 18.70±1.68 ^a | 454.41±42.85 ^{ab} | 2.04±0.09 ^{ab} |
| 1 | 50 | 15.98±1.54 ^b | 380.22±48.73 ^c | 1.86±0.12 ^c |
| 1 | 75 | 15.19±1.32 ^{bc} | 356.25±41.44 ^{cd} | 1.80±0.11 ^c |
| 1 | 100 | 13.29±1.80 ^{cd} | 299.85±53.28 ^{de} | 1.65±0.16 ^d |
| 2 | 0 | 19.94±1.55 ^a | 492.92±53.07 ^a | 2.12±0.10 ^a |
| 2 | 25 | 18.73±1.67 ^a | 463.45±47.63 ^{ab} | 2.06±0.10 ^{ab} |
| 2 | 50 | 16.39±1.73 ^b | 399.69±55.33 ^{bc} | 1.91±0.13 ^{bc} |
| 2 | 75 | 12.29±1.14 ^d | 275.54±41.13 ^e | 1.57±0.13 ^d |
| 2 | 100 | 8.99±1.74 ^e | 171.95±23.29 ^f | 1.18±0.10 ^e |

¹ Values are means ± SD of three replicates, means within the same column sharing the same superscripts are not significantly different (p>0.05)

² 1 = Meal ; 2 = Hydrolysate

³ Weight gain (%) = [Final weight (g/fish) - Initial weight (g/fish)] x 100/ Initial weight (g/fish)

⁴ Specific growth rate = (ln w₂-ln w₁)x100/days; w₁ = initial weight, w₂ = final weight

จำเพาะของปลากะพงขาวจะมีค่าลดลง โดยการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทุ่นำปนเพิ่มขึ้น 10% มีผลให้อัตรการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงเท่ากับ 0.04%/วัน ส่วนการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทุ่นำที่เพิ่มขึ้น 10% ทำให้อัตรการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงเท่ากับ 0.092%/วัน ในขณะที่ระดับการแทนที่ด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทุ่นำปนเพิ่มขึ้น 10% อัตรการเจริญเติบโตจำเพาะจะ

ลดลงเท่ากับ 0.054%/วัน และระดับการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทุ่นำเพิ่มขึ้น 10% อัตรการเจริญเติบโตจำเพาะจะลดลงเท่ากับ 0.096%/วัน

2.3 น้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตรการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และการรอดตาย

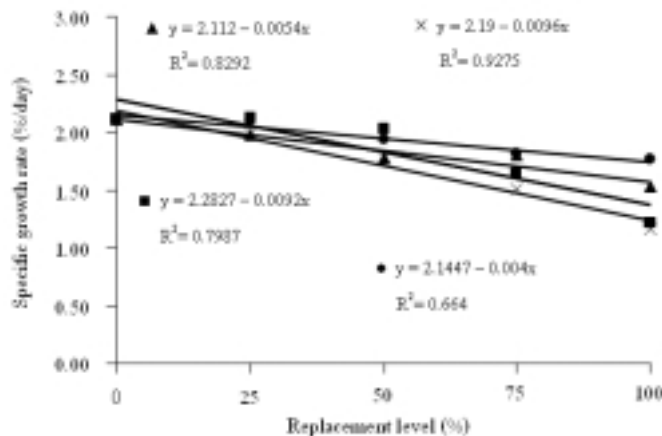


Figure 3. Regression of specific growth rate of seabass fed diets containing increasing levels of tuna by-products substituted for fishmeal; ● represents visceral meal, ■ visceral hydrolysate, ▲ viscera and head meal, x viscera and head hydrolysate

น้ำหนักอาหารที่กินของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลอง 20 สูตร ดังแสดงใน Table 6 พบว่า ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับของการแทนที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณอาหารที่ปลากิน แต่ชนิดของวัตถุดิบและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมีผลต่อการกินอาหารของปลา ($p < 0.05$) โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น มีน้ำหนักอาหารที่กินสูงกว่าการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าทั้งในรูปของป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต (Figure 4)

ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้แทนที่ปลาป่นมีผลต่อการกินอาหารของปลา เมื่อแทนที่ในระดับต่างๆ โดยปริมาณการกินอาหารของปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 25% มีปริมาณสูงกว่าการแทนที่ด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 25, 50, 75 และ 100% อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Table 7) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าที่ระดับ 25% มีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าถึงแม้ว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การกินอาหารของปลายังมีผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับการแทนที่ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 50, 75 และ 100% มีน้ำหนักอาหารที่กินต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วย

ผลิตภัณฑ์ป่นทั้งจากเครื่องในและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า (Table 8)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ ดังแสดงใน Table 6 พบว่าชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับของการแทนที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ แต่พบว่าชนิดของวัตถุดิบและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมีอิทธิพลร่วมกันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ โดยปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่นมีค่าดังกล่าวดีกว่า ($p < 0.05$) การแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่า เครื่องในปลาทูน่าทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสต (Figure 4)

ชนิดของวัตถุดิบและระดับการแทนที่มีอิทธิพลร่วมกันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (Table 7) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 100% มีโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่าแทนที่ระดับ 100% และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 75% ตามลำดับ ($p < 0.05$) สำหรับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่

Table 6. Average feed intake, feed conversion ratio (FCR) and productive protein value (PPV) of seabass fed diets with tuna processing by-products processed into meal and hydrolysate replacing fishmeal at different levels¹

| Tuna by-products ² | Product type ³ | Replacement level (%) | Feed intake (g/fish) | FCR ⁴ (%) | PPV ⁵ (%) | Survival (%) |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| 1 | 1 | 0 | 15.79±0.22 | 0.96±0.11 | 38.64±4.75 | 93.33±6.67 |
| 1 | 1 | 25 | 20.21±1.42 | 1.24±0.08 | 29.73±1.93 | 88.89±3.85 |
| 1 | 1 | 50 | 15.69±6.12 | 1.13±0.36 | 32.58±9.62 | 88.89±3.85 |
| 1 | 1 | 75 | 13.86±2.69 | 1.15±0.13 | 31.06±3.85 | 93.33±6.67 |
| 1 | 1 | 100 | 20.00±0.95 | 1.78±0.26 | 19.98±2.82 | 88.89±3.85 |
| 1 | 2 | 0 | 15.79±0.22 | 0.96±0.11 | 38.64±4.75 | 93.33±6.67 |
| 1 | 2 | 25 | 18.42±0.57 | 1.12±0.07 | 33.61±2.07 | 88.89±3.85 |
| 1 | 2 | 50 | 13.27±1.90 | 0.91±0.15 | 39.29±6.29 | 93.33±6.67 |
| 1 | 2 | 75 | 10.12±1.12 | 1.06±0.15 | 36.27±4.92 | 93.33±6.67 |
| 1 | 2 | 100 | 4.82±0.74 | 0.83±0.09 | 32.97±4.03 | 88.89±3.85 |
| 2 | 1 | 0 | 15.79±0.22 | 0.96±0.11 | 38.64±4.75 | 93.33±6.67 |
| 2 | 1 | 25 | 13.40±3.90 | 0.94±0.28 | 40.40±10.94 | 93.33±6.67 |
| 2 | 1 | 50 | 12.49±1.77 | 1.07±0.11 | 33.34±3.15 | 88.89±3.85 |
| 2 | 1 | 75 | 15.36±1.67 | 1.32±0.10 | 27.73±2.34 | 91.11±3.85 |
| 2 | 1 | 100 | 14.26±2.39 | 1.69±0.45 | 22.14±6.55 | 86.67±0.00 |
| 2 | 2 | 0 | 15.79±0.22 | 0.96±0.11 | 38.64±4.75 | 93.33±6.67 |
| 2 | 2 | 25 | 15.15±0.98 | 1.07±0.12 | 37.28±3.77 | 88.89±3.85 |
| 2 | 2 | 50 | 11.20±1.39 | 0.97±0.09 | 39.66±3.59 | 93.33±6.67 |
| 2 | 2 | 75 | 11.44±2.94 | 1.35±0.22 | 27.37±4.44 | 88.89±3.85 |
| 2 | 2 | 100 | 7.87±1.50 | 1.42±0.16 | 24.06±2.74 | 91.11±3.85 |
| ANOVA | | | P>F | | | |
| Tuna by-products (B) | | | 0.01 | 0.230 | 0.793 | 0.865 |
| Product types (P) | | | 0.0001 | 0.002 | 0.015 | 0.510 |
| Replacement level (L) | | | 0.0001 | 0.0001 | 0.077 | 0.267 |
| B*P | | | 0.023 | 0.023 | 0.0001 | 0.865 |
| B*L | | | 0.009 | 0.047 | 0.036 | 0.757 |
| P*L | | | 0.0001 | 0.001 | 0.264 | 0.500 |
| B*P*L | | | 0.083 | 0.226 | 0.649 | 0.861 |

¹ Values are means ± SD of three replicates

² 1 = Tuna viscera; 2 = Tuna viscera and head (2:1)

³ 1 = Meal; 2 = Hydrolysate

⁴ Feed conversion ratio = Feed intake (g/fish) / Weight gain (g/fish)

⁵ Productive protein value = Protein gain (g/fish) / Protein intake (g/fish)

ผลิตภัณฑ์มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเมื่อแทนที่ปลาป่นที่ระดับต่างๆ (Table 8) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ปลาป่นที่ระดับ 100% มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 1.74 ± 0.33 สำหรับโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

การรอดตายของปลากะพงขาวในการศึกษาครั้งนี้ อยู่ในช่วง 86.66 ถึง 93.33% ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.4 คุณภาพน้ำในตู้ทดลอง

อุณหภูมิในตู้มีค่าระหว่าง 27.02 ถึง 28.64°C ความเป็นกรด-ด่างมีค่าระหว่าง 7.85 ถึง 8.07 ความเป็น

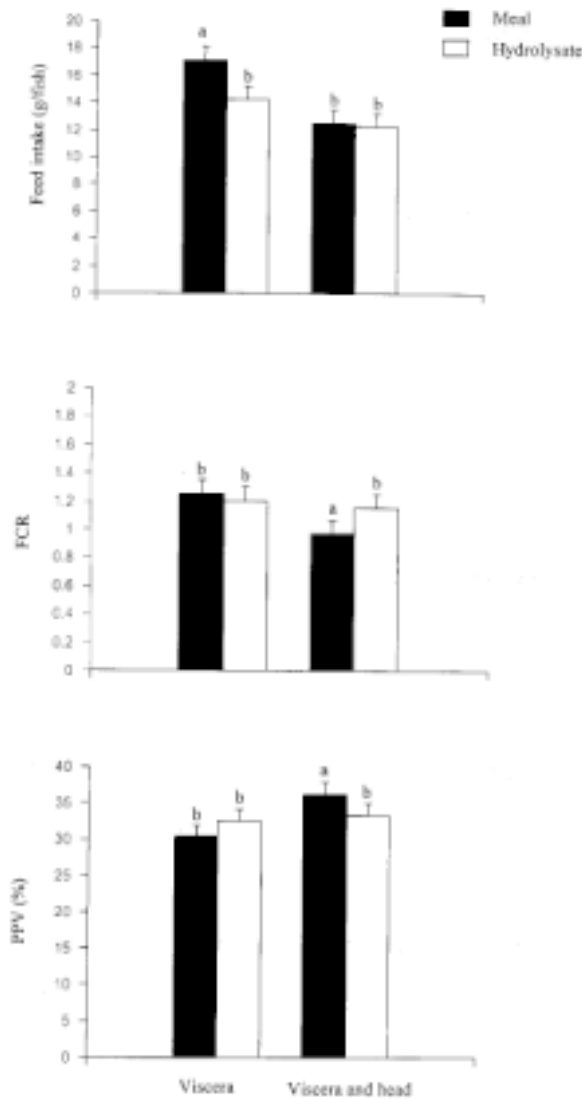


Figure 4. Mean feed intake, feed conversion ratio (FCR) and productive protein value (PPV) of seabass fed diets with tuna viscera and a mixture of tuna viscera and head replacing fish meal, means of each parameter with different letters are significantly different ($p < 0.05$)

ต่างมีค่าระหว่าง 102 ถึง 116 มก./ลิตร ออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าระหว่าง 6.00 ถึง 6.56 มก./ลิตร ความเค็มมีค่าระหว่าง 28 ถึง 30 ส่วนในพัน และแอมโมเนียรวมมีค่าระหว่าง 0.06 ถึง 0.14 มก./ลิตร

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ป่นและไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาคือหัวปลาทูน่า สอดคล้องกับปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบซึ่งมีปริมาณสูงกว่าในหัวปลาทูน่าและหัวกุ้งกุลาดำ โดยวัสดุเศษเหลือชนิดเดียวกันเมื่อผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเสต มีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นและมีปริมาณกรดลดลง เนื่องจากในการผลิตไฮโดรไลเสตมีการแยกส่วนที่ไม่ละลาย เช่น กระดูกในขั้นตอนการย่อยสลายออกไป ทำให้ปริมาณกรดต่ำลง และปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น ขั้นตอนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตในการศึกษาครั้งนี้ยังมีผลต่อองค์ประกอบกรดอะมิโนชนิดจำเป็นของผลิตภัณฑ์โดยระดับของอาร์จินีนในไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ป่น ส่วนไฮโดรไลเสตจากหัวปลาทูน่าและหัวกุ้งกุลาดำ มีปริมาณกรดอะมิโนชนิดจำเป็นเพิ่มสูงขึ้นโดยมีปริมาณรวมของกรดอะมิโนชนิดจำเป็นเท่ากับ 19.29 และ 21.62% ขณะที่ผลิตภัณฑ์ป่นมีปริมาณเท่ากับ 16.77 และ 13.19% (dry-matter basis) ตามลำดับ แต่ระดับของกรดอะมิโนชนิดจำเป็นที่เพิ่มขึ้นยังต่ำกว่าระดับที่มีในปลาป่น ในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์ป่นและไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากเครื่องในปลาทูน่ามีกรดอะมิโนชนิดจำเป็น 3 ชนิด ได้แก่ อาร์จินีน ฮีสติดีน และทรโอนีน สูงกว่าที่มีในปลาป่น สำหรับปริมาณผลผลิตในส่วน of ผลิตภัณฑ์ป่น ซึ่งเครื่องในป่นมีปริมาณต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ไฮโดรไลเสตนั้น เนื่องจากเครื่องในที่บดแล้วและนำไปให้ความร้อนมีลักษณะเหนียวติดกับวัสดุที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ทำให้ผลผลิตที่ได้ลดลง ดังนั้นจึงควรปรับวิธีการในการผลิตโดยนำวัตถุดิบเครื่องในมาทำให้สุกก่อน จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้วจึงนำไปบดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยจากการทดลองผลิตด้วยวิธีการดังกล่าว พบว่า ได้ผลโดยผลิตเครื่องในป่นประมาณ 21.73 ± 0.25% (3 ซ้ำ)

เมื่อนำเครื่องในและหัวปลาทูน่าไปเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นแหล่งโปรตีนในรูปผลิตภัณฑ์ป่นและไฮโดรไลเสตทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับปลากะพงขาวที่ระดับต่างๆ พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเครื่องในและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 25% มีน้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์

Table 7. Interaction between tuna by-products used as fishmeal replacer and replacement levels on average feed intake, feed conversion ratio (FCR) and productive protein value (PPV) of seabass¹

| Tuna by-products ² | Replacement level (%) | Feed intake (g/fish) | FCR ³ | PPV ⁴ (%) |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 0 | 15.79±0.20 ^{ab} | 0.96±0.10 ^a | 38.64±4.25 ^a |
| 1 | 25 | 19.32±1.38 ^a | 1.18±0.10 ^{abc} | 31.67±2.78 ^{ab} |
| 1 | 50 | 14.48±4.26 ^b | 1.02±0.28 ^{ab} | 35.94±8.15 ^a |
| 1 | 75 | 11.99±2.75 ^b | 1.11±0.13 ^{abc} | 33.67±4.88 ^{ab} |
| 1 | 100 | 12.41±8.35 ^b | 1.31±0.55 ^{bcd} | 26.47±7.77 ^{bc} |
| 2 | 0 | 15.79±0.20 ^{ab} | 0.96±0.10 ^a | 38.64±4.25 ^a |
| 2 | 25 | 14.28±2.71 ^b | 1.00±0.20 ^a | 38.84±7.52 ^a |
| 2 | 50 | 11.85±1.59 ^b | 1.02±0.10 ^{ab} | 36.50±4.59 ^a |
| 2 | 75 | 13.40±3.03 ^b | 1.33±0.15 ^{cd} | 27.55±3.18 ^{bc} |
| 2 | 100 | 11.07±3.93 ^b | 1.56±0.33 ^d | 23.10±4.61 ^c |

¹ Values are means ± SD of three replicates, means within the same column sharing the same superscripts are not significantly different (p>0.05)

² 1 = Tuna viscera; 2 = Tuna viscera and head (2:1)

³ Feed conversion ratio = Feed intake (g/fish) / Weight gain (g/fish)

⁴ Productive protein value = Protein gain (g/fish) / Protein intake (g/fish)

Table 8. Interaction between product types and replacement levels on average feed intake and feed conversion ratio (FCR) of seabass¹

| Product type ² | Replacement level (%) | Feed intake (g/fish) | FCR ³ |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 15.79±0.20 ^a | 0.96±0.10 ^a |
| 1 | 25 | 16.81±4.56 ^a | 1.09±0.25 ^a |
| 1 | 50 | 14.09±4.39 ^{ab} | 1.10±0.24 ^a |
| 1 | 75 | 14.61±2.16 ^{ab} | 1.24±0.14 ^a |
| 1 | 100 | 17.13±3.54 ^a | 1.74±0.33 ^b |
| 2 | 0 | 15.79±0.20 ^a | 0.96±0.10 ^a |
| 2 | 25 | 16.79±1.93 ^a | 1.10±0.09 ^a |
| 2 | 50 | 12.24±1.87 ^{bc} | 0.94±0.12 ^a |
| 2 | 75 | 10.78±2.11 ^c | 1.21±0.23 ^a |
| 2 | 100 | 6.35±1.98 ^d | 1.12±0.35 ^a |

¹ Values are means ± SD of three replicates, means within the same column sharing the same superscripts are not significantly different (p>0.05)

² 1 = Meal ; 2 = Hydrolysate

³ Feed conversion ratio = Feed intake (g/fish) / Weight gain (g/fish)

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก โดยการเจริญเติบโตจะมีค่าลดลงตามระดับการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น

แสดงให้เห็นว่าการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่น ส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า และโปรตีนไฮโดรไลเสต

จากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 25% เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากะพงขาว ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่ระดับ 50, 75 และ 100% มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากปลาป่นเพียงอย่างเดียว และมีการเจริญเติบโตต่ำที่สุดเมื่อแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 100% โดยการเพิ่มขึ้นของโปรตีนไฮโดรไลเสตทุก 10% จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลง 0.092-0.096%/วัน ขณะที่การเพิ่มขึ้นของเครื่องในป่นทุก 10% ทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงเพียง 0.04%/วัน เนื่องจากวัสดุเศษเหลือทั้งที่เป็นชนิดป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นคือ ไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน ทรีโอนีน และวาเลอีน ในปริมาณต่ำกว่าปลาป่น เมื่อนำมาใช้แทนที่ในระดับที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณกรดอะมิโนชนิดดังกล่าวในอาหารลดลง โดยมีปริมาณต่ำสุดเมื่อมีการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100% โดยมีไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน ทรีโอนีน และวาเลอีน เท่ากับ 1.46, 2.36, 1.83, 1.81, 1.70% ของโปรตีนตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียว (ไอโซลูซีน 2.57, ลูซีน 4.16, ไลซีน 4.10, ทรีโอนีน 2.35 และวาเลอีน 2.92% ของโปรตีน) การแทนที่ปลาป่นด้วยวัสดุเศษเหลือในระดับที่สูงกว่า 25% จึงมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็น และไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลา มีผลทำให้ปลาที่มีการเจริญเติบโตต่ำ เช่นเดียวกับ Li และคณะ (2004) พบว่า ปลา red drum ที่ได้รับอาหารที่มีหัวปลาแซลมอนป่นที่ระดับ 25% มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่น (menhaden fish meal) เป็นแหล่งโปรตีนหลัก แต่ปลา red drum ที่ได้รับอาหารที่มีหัวกุ้งป่นแทนที่ปลาป่นจะมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ เนื่องจากหัวกุ้งป่นมีปริมาณของไลซีนและเมทไธโอนีนต่ำกว่าในปลาป่น Fanimo และคณะ (2000) เปรียบเทียบคุณภาพของโปรตีนในเศษเหลือจากการแปรรูปกุ้งกับปลาป่น พบว่าโปรตีนของเศษเหลือมีคุณภาพด้อยกว่าโปรตีนในปลาป่น และการเสริมไลซีนและเมทไธโอนีนลงในหัวกุ้งป่นทำให้คุณภาพของโปรตีนในหัวกุ้งป่นดีขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลของระดับเมทไธโอนีนในอาหาร แต่โดยทั่วไปปริมาณที่มีในวัสดุเศษเหลือชนิดต่างๆ อยู่ในระดับที่น้อยกว่าในปลาป่น เช่น

เครื่องในปลาทูน่าป่นมีปริมาณ 1.23% เศษเหลือของกุ้งป่น 0.80% เนื้อและกระดูกป่น 0.64% และเศษเหลือของสัตว์ปีกป่น 1.05% (as-fed basis) ขณะที่ในปลาป่นมีปริมาณ 1.95-2.14% (Tacon, 1990)

การศึกษาครั้งนี้ปลากะพงที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 100% มีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าป่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าและโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 100% เนื่องจากมีปริมาณของกรดอะมิโนในอาหารสูงกว่า ดังนั้นการเสริมกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิดที่มีปริมาณน้อยลงไปในการที่มีเครื่องในปลาทูน่าป่น 100% ให้มีปริมาณใกล้เคียงกับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25% จะส่งผลให้ปลาที่มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่าป่นที่ระดับ 25% และอาหารที่มีปลาป่นเพียงอย่างเดียว ส่วนการเสริมกรดอะมิโนลงไปในการเสริมกรดอะมิโนอื่นๆ โดยเฉพาะที่มีการแทนที่ระดับ 100% จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเนื่องจากต้องเสริมกรดอะมิโนในปริมาณมาก เพื่อให้มีปริมาณใกล้เคียงกับสูตรอาหารที่มีการเจริญเติบโตดี รวมถึงวิธีในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจะมีต้นทุนสูงและมีวิธีการผลิตซับซ้อนกว่าการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่น

ปริมาณอาหารที่กินสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวในการศึกษาครั้งนี้ โดยปลาขอมรับอาหารที่มีเครื่องในปลาทูน่าทั้งในรูปป่นและไฮโดรไลเสตที่ระดับ 25% ไม่แตกต่างจากอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก จึงทำให้ปลาที่มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน แต่การแทนที่ปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตในระดับที่สูงขึ้นเป็น 50, 75 และ 100% มีผลต่อการกินอาหารโดยทำให้ปลา กินอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตเมื่อใส่ลงในอาหารในปริมาณมากจะทำให้อาหารมีรสขม ทำให้ปลาขอมรับอาหารลดลง (Refstie *et al.*, 2004) ซึ่งรสขมเกิดขึ้นเนื่องจากในขั้นตอนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโปรตีน โดยการตัดสายเปปไทด์ที่มีสายโซ่ยาวให้เป็นกรดอะมิโนอิสระหรือเปปไทด์สายสั้นๆ ซึ่งทำให้เกิดกรดอะมิโนกลุ่มไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยเฉพาะไอโซลูซีน ลูซีน ฟีนอลาลานีน ทรีโอฟีน และวาเลอีน (Mackie, 1982) โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้จากเครื่องใน

ปลาทูน่า และส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าจึงมีรสขม ขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ป่นมีปริมาณการกินอาหารสูงกว่า เนื่องจากขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ป่นไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโปรตีนทำให้ไม่เกิดรสขม จากการทดลองพบว่า การแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 100% ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ป่น จะมีน้ำหนักอาหารที่ปลากินมากกว่าการแทนที่ด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสด แต่การเติมโปรตีนไฮโดรไลเสดลงในอาหารในระดับที่ไม่มากและน้อยเกินไปจะส่งผลให้ปลากินอาหารเพิ่มขึ้น เช่น Refstie และคณะ (2004) พบว่าปลาแอตแลนติก แซลมอนจะมีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีการเติมโปรตีนไฮโดรไลเสด 10-15% และการเติมโปรตีนไฮโดรไลเสดลงในอาหารในระดับที่เหมาะสมส่งผลให้ปลาแอตแลนติก แซลมอนมีการเจริญเติบโตดีขึ้น (Berge and Storebakken, 1996)

โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่มีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าที่ระดับ 75 และ 100% มีค่าต่ำกว่าการแทนที่ด้วยเครื่องในปลาทูน่า เนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารที่มีส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูน่าในระดับที่สูงขึ้นมีปริมาณลดน้อยลง ดังนั้นเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่จึงทำให้โปรตีนที่สามารถนำไปใช้สังเคราะห์โปรตีนได้ลดลง

โปรตีนไฮโดรไลเสดเป็นโปรตีนที่ผ่านการย่อยในขั้นตอนการผลิต เมื่อนำมาแทนที่ปลาป่นในระดับ 50, 75 และ 100% ปลาจะมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าการแทนที่ด้วยวัสดุเศษเหลือป่น เนื่องจากปลาจะมีการย่อยสลายโปรตีนจากอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และเก็บสะสมไว้ในร่างกายบางส่วน โปรตีนส่วนเกินจะถูกขับออกจากร่างกาย ดังนั้นอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสดในระดับสูงปลาจะดูดซึมโปรตีนที่ผ่านการย่อยแล้วได้ดี แต่เนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด ดังนั้นกรดอะมิโนที่เหลือจะถูกขับออกจากร่างกายในปริมาณมากกว่าอาหารที่มีวัสดุเศษเหลือป่น ซึ่งปลาจะย่อยโปรตีนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้ดีกว่า

จากผลการทดลองพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ด้วยวัสดุเศษเหลือที่ระดับ 25% ของโปรตีนใน

ปลาป่น จะมีการเจริญเติบโต น้ำหนักอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก และจะมีค่าลดลงตามระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในอาหารที่เพิ่มขึ้น แต่สามารถทดแทนปลาป่นในอาหารได้ในปริมาณที่สูงกว่าการแทนที่ด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน โดย Tantikitti และคณะ (2005) พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับ 10% ของโปรตีนในปลาป่น จะมีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม แต่เมื่อระดับการแทนที่ด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ขณะที่ จูอะดี และมะลิ (2538) ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดในอัตราส่วน 5:3 แทนที่ปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว พบว่าสามารถใช้แทนที่ได้ที่ระดับ 25% ของปลาป่นในอาหาร โดยปลาที่มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างจากอาหารสูตรควบคุม และเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่จะทำให้การเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลง เนื่องจากปลาจะมีความสามารถในการย่อยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดได้น้อยกว่าปลาป่น ทั้งนี้จะเกิดจากคาร์โบไฮเดรตในกากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดซึ่งย่อยยาก รวมทั้งกากถั่วเหลืองมีความไม่สมดุลของกรดอะมิโน และสารต้านโภชนาการสูง ส่วน Stone และคณะ (2000) พบว่าปลา Australian silver perch ซึ่งเป็นปลากินทั้งพืชและเนื้อ (omnivorous) สามารถใช้เนื้อป่นทดแทนปลาป่นในอาหารได้ถึง 30% สำหรับการศึกษการใช้เนื้อป่นและเนื้อกระดูกป่นทดแทนปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว พบว่าสามารถใช้ทดแทนได้บางส่วน

ปลากะพงขาวในการศึกษารุ่นนี้มีการรอดตายสูงใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากปลาที่ใช้ทดลองมีขนาดใหญ่มีการยอมรับอาหารทดลองได้ดี ในขณะที่ Cahu และคณะ (2004) พบว่า ปลากะพงยุโรป *Dicentrarchus labrax* ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนไฮโดรไลเสดแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 14% มีอัตราการรอดตายสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่ระดับ 46% เช่นเดียวกับ Cahu และคณะ (1999) พบว่าปลากะพงยุโรปวัยอ่อนมีอัตราการรอดตายสูงเมื่อได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสดที่ระดับ

25% และอัตราการรอดตายจะลดลงเมื่อระดับการแทนที่ปลาป่นในอาหารเท่ากับ 50 และ 75%

สรุปผลการศึกษา

เครื่องในปลาทูลำ และหัวปลาทูลำเป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำที่มีปริมาณโปรตีน องค์ประกอบกรดอะมิโนที่จำเป็น และปริมาณผลผลิตสูงกว่าหัวกุ้งกุลาดำเมื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่นและไฮโดรไลเสต จากการนำเครื่องในปลาทูลำและส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูลำที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ป่นและไฮโดรไลเสตแทนที่ปลาป่นในอาหารสำหรับปลากะพงขาวที่ระดับ 25 50 75 และ 100% ของโปรตีนในปลาป่น ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยเครื่องในปลาทูลำมีการเจริญเติบโตและโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์สูงกว่าส่วนผสมของเครื่องในและหัวปลาทูลำ โดยผลิตภัณฑ์ป่นและโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 25% ส่งผลให้ปลาที่มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากปลาป่นเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีผลกระตุ้นการกินอาหารของปลาอีกด้วย

เครื่องในปลาทูลำป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สามารถนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในระดับที่สูงกว่า 25% แต่ควรมีการเสริมกรดอะมิโนชนิดจำเป็นที่มีอยู่ในปริมาณน้อย ได้แก่ ไลซีน ไอโซลูซีน ลูซีน ทรีโอนีน วาลีน และเมทไธโอนีน เพื่อให้มีปริมาณของกรดอะมิโนชนิดจำเป็นเพียงพอต่อความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตของปลา โดยปริมาณที่เสริมขึ้นอยู่กับระดับของเครื่องในปลาทูลำที่ใช้ในอาหาร นอกจากนี้การใช้เครื่องในปลาทูลำแทนที่ปลาป่นยังมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเถ้าต่ำ จึงทำให้มีการปล่อยฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปลาป่นซึ่งมีปริมาณเถ้าสูงกว่า

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2547 ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง จ.สตูล สำหรับสถานที่ในการทดลองเลี้ยงปลา บริษัท ทropicคอลแคนนิ่ง จำกัด สำหรับความ

อนุเคราะห์เครื่องในและหัวปลาทูลำ และบริษัท ห้องเย็น โชติวัฒน์ สำหรับความอนุเคราะห์หัวกุ้งกุลาดำ เป็นวัตถุดิบในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- จوزهดี พงศ์มณีรัตน์ และมะลิ บุญยรัตผลิน. 2538. การใช้แหล่งโปรตีนพืชบางชนิดในอาหารสำหรับปลากะพงขาว. เอกสารวิชาการฉบับที่ 14/2538 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, สงขลา. 12 หน้า.
- ไตรตะวัน คงแก้ว. 2542. โปรตีนไฮโดรไลเสตและน้ำมันดิบจากหัวกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- มลฤดี นิพันธ์ุพงษ์. 2542. สถิติฟาร์มเลี้ยงปลาน้ำกร่อย ประจำปี 2540. กลุ่มสถิติและสารสนเทศการประมง กองเศรษฐกิจการประมง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2542. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 21 หน้า.
- สมาคมผู้ผลิตปลาป่นไทย. 2544. 20 ปี สมาคมผู้ผลิตปลาป่นไทย. กรุงเทพมหานคร, สมาคมผู้ผลิตปลาป่นไทย.
- สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย. 2550. สถิติการส่งออก ประจำเดือน มกราคม-ธันวาคม 2549. http://www.thai-frozen.or.th/th/facts-fig/stat.asp?sel_month=0&sel_year=2006 เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2550
- สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป. 2550. ปลาทูลำกระป๋อง. http://www.rakbankerd.com/agriculture/in.agricultural/sub.agricultural_1.html?sub_id=33528&head=การผลิตและการค้าปลาทูลำกระป๋อง&click_center=1 เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2550
- สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. 2550. ผลผลิตการเลี้ยงปลาจำแนกตามชนิด และประเภทการเลี้ยง เป็นรายจังหวัด ปี 2547. http://www.fisheries.go.th/it-stat/data_2547/Yearbook-2004/T2.6.pdf เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2550
- อารยา เชาวเรืองฤทธิ. 2536. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เศษเนื้อปลาทูลำปรุงรสห่อด้วยผักแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 13th edition,

- Washington, D.C.
- Berge, G.M. and Storebakken, T. 1996. Fish protein hydrolysate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Aquaculture* 145: 205-212.
- Bureau, D.P., Harris, A.M. and Cho, C.Y. 1999. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 180: 345-358.
- Cahu, C.L., Zambonino Infante, J.L., Quazugule, P. and Le Gall, M.M. 1999. Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10-day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae. *Aquaculture* 171: 109-119.
- Cahu, C.L., Ronnestad, I., Grangier, V. and Zambonino Infante, J.L. 2004. Expression and activities of pancreatic enzymes in developing sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) in relation to intact and hydrolyzed dietary protein; involvement of cholecystokinin. *Aquaculture* 238: 295-308.
- El-Sayed, A.F.M. 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in *Nile tilapia*, *Oreochromis niloticus* (L.) feed. *Aquacult. Res.* 29: 275-280.
- Fanimu, A.O., Oduguwa, O.O., Onifade, A.O., Olutunde, T.O. 2000. Protein quality of shrimp waste meal. *Bioresour. Technol.* 72:185-188.
- Li, P., Wang, X., Hardy, R.W. and Gatlin III, D.M. 2004. Nutritional value of fisheries by-catch and by-product meals in the diet of red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 236: 485 - 496.
- Lovell, T. 1989. *Nutrition and Feeding of Fish*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Mackie, T.M. 1982. Fish protein hydrolysates. *Proc. Biochem.* 17: 26-28.
- NRC.1993. *Nutrient Requirement of Fish*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Refstie, S. Olli, J.J. and Standal, H. 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* 77: 61-70.
- Shahidi, F., Han, X.Q. and Synowiecki, J. 1995. Production and characteristics of protein hydrolysate from capelin (*Mallotus villosus*). *Food Chemist.* 53: 285-293.
- Steffens, W. 1989. *Principles of Fish Nutrition*. New York: Ellis Horwood Limited.
- Stone, D.A.J., Allan, G.L., Parkinson, S. and Rawland, S.J. 2000. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus* III. Digestibility and growth using meat meal products. *Aquaculture* 186: 311-326.
- Strickland, J.D.H. and Parson, T.R. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis* 2nd edition. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.
- Tacon, A.G.J. 1990. *Standard Methods for the Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp*. Volume 2. Nutrient Sources and Composition. Washington: Argent Laboratories Press.
- Tacon, A.G.J. and Jackson, A.J. 1985. Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feed, pp. 119-145. In: C.B. Cowey, A.M. Mackie and J.G. Bell (eds.). *Nutrition and Feeding in Fish*. London: Academic Press.
- Tantikitti, C., Sangpong, W. and Chiavareesajja, S. 2005. Effects of defatted soybean protein levels on growth performance and nitrogen and phosphorus excretion in Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture* 248: 41-50.