

ผลของอัตราและความถี่การให้อาหารที่แทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลือง
สกัดน้ำมันต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการให้อาหาร และ
การสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของปลากะพงขาว
(*Lates calcarifer* Bloch)

ชุตติมา ตันติกิติ¹ โสภณ อ่อนคง² สุทิน สีสุข³ และ สุภาพร มหันต์กิจ⁴

Abstract

Tantikitti, C.¹, Onkong, S.², Srisook, S.¹ and Mahankich, S.³

Effects of feeding level and feeding frequency on growth, feed efficiency and nitrogen and phosphorus loss in seabass (*Lates calcarifer* Bloch) fed diets with defatted soybean meal partially replacing fishmeal

Songklanakarini J. Sci. Technol., 2007, 29(3) : 725-736

Feeding management is crucial for feed efficiency, nutrient utilization, growth of cultured aquatic species and the amount of organic waste produced. This study aimed at investigating effects of two levels of feeding at two feeding frequencies on growth performance, feed efficiency and nitrogen and phosphorus loss in Asian seabass when fed diets with defatted soybean meal (SBM) replacing fish meal. Three diets were

¹Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand. ²Satun Coastal Fisheries Research and Development Center, Muang, Satun
³Freshwater Fisheries Research and Development Center, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Co-operative

¹Ph.D. (Aquatic Animal Nutrition) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วท.บ. (วาริชศาสตร์) ผู้ช่วยวิจัย ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112 ²วท.ม. (วาริชศาสตร์) นักวิชาการประมง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสตูล อำเภอเมือง จังหวัดสตูล ⁴วท.ม. (วาริชศาสตร์) นักวิชาการประมง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

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

รับต้นฉบับ 25 เมษายน 2549 รับลงพิมพ์ 30 มกราคม 2550

formulated to contain defatted SBM to replace fish meal at 0, 10 and 20% of fish meal protein. Each diet was given to the fish at either 4% of body weight (BW) or to satiation. At each feeding level, the fish were fed at two feeding frequencies, once and twice daily. Fish with an average initial weight of 2.04 ± 0.06 g/fish were reared for twelve weeks in the flow through system. Growth of fish reduced with an increasing amount of defatted SBM incorporated in diets as observed in other carnivorous species. Within groups of fish fed the same diet, different growth performance and feed efficiency differed due to both feeding level and frequency. Weight gain of fish that were fed diet with defatted SBM replacing 10% of fish meal protein (diet 2) until satiation was not significantly different from fish fed fish meal based diet at 4% BW. Furthermore, feeding fish the former diet twice daily resulted in an improvement of FCR, PER and PPV of fish to those of the fish fed fish meal based diet at satiation twice daily. Nitrogen and phosphorus loss was affected by diet, feeding level and frequency. Fish fed diet 2 until satiation twice daily lost nitrogen and phosphorus in the amount similar to that of fish fed fish meal based diet until satiation.

Key words : fish meal replacement, feeding level and frequency, growth and feed efficiency, nitrogen and phosphorus loss, Asian seabass

บทคัดย่อ

ชุตินา ตันติกิตติ โสภณ อ่อนคง สุทิน สีสุข และ สุภาพร มหันต์กิจ
ผลของอัตราและความถี่การให้อาหารที่แทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมันต่อ
การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
ของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch)
ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(3) : 725-736

การจัดการด้านการให้อาหารมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ และปริมาณการขับถ่ายของเสียลงสู่สภาพแวดล้อม การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระดับและความถี่ของการให้อาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของปลากะพงขาวที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 2.04 ± 0.06 กรัม/ตัว โดยให้อาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นระดับ 0, 10 และ 20% ของโปรตีนในปลาป่น ให้ปลากะพงขาวกินที่ 2 ระดับ คือ 4% ของน้ำหนักตัว และให้กินจนอิ่ม ในแต่ละระดับแบ่งปลาเป็น 2 กลุ่ม ตามความถี่ของการให้อาหาร คือ 1 และ 2 ครั้ง/วัน โดยมีระยะเวลาการเลี้ยง 12 สัปดาห์ พบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นมีการเจริญเติบโตที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาในปลาชนิดอื่นโดยการเจริญเติบโตที่ลดลงมีผลมาจากปริมาณอาหารที่กินลดลง และพบว่า การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากะพงที่ได้รับอาหารชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดการการให้อาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ 10% ของโปรตีนในปลาป่นที่ให้กินจนอิ่ม มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว และเมื่อเพิ่มความถี่ของการให้อาหารโดยให้กินจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ มีค่าที่ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่ให้กินจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน โดยสูตรอาหาร ระดับการให้อาหารและความถี่ของการให้อาหารมีผลร่วมกันต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสีย ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่ให้กินจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสียไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่ให้กินจนอิ่ม

ปัจจุบันได้มีความพยายามศึกษาเพื่อหาวัตถุดิบชนิดอื่นมาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ

เนื่องจากการจับปลาที่จะนำมาผลิตเป็นปลาป่นมีแนวโน้มลดลงและราคาสูงขึ้น คุณภาพไม่แน่นอน จึงจำเป็นต้องหา

แหล่งโปรตีนที่หาได้ง่ายและราคาถูกกว่ามาใช้ทดแทนปลาป่น บางส่วนหรือทั้งหมด เพื่อลดปริมาณการใช้ปลาป่น โดยกากถั่วเหลืองนับว่าเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพดีกว่าวัตถุดิบจากพืชชนิดอื่น เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นในสัดส่วนที่ดี ซึ่งส่วนใหญ่มีในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของปลา จึงมีการศึกษาเพื่อนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับสัตว์น้ำหลายชนิด (Alexis, 1990; Arndt *et al.*, 1999; Elangovan and Shim, 2000; Kissil *et al.*, 2000) ผลการศึกษาในปลาถิ่นเนื้อส่วนใหญ่ พบว่าเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (Ballestrazzi *et al.*, 1994; Carter *et al.*, 1994; Robaina *et al.*, 1995; Refstie *et al.*, 1998; Arndt *et al.*, 1999; Carter and Hauler, 2000; Kissil *et al.*, 2000) เช่นเดียวกับการศึกษาในปลากระพงขาว โดย Boonyaratpalin และคณะ (1998) พบว่ากากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันสามารถแทนที่ 37.5% ของปลาป่นในอาหารโดยมีการเจริญเติบโตที่ดี แต่มีการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าปลากระพงที่กินอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก

การศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยแหล่งโปรตีนพืชชนิดต่างๆ มักจะศึกษาผลที่มีต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการให้อาหาร และการรอดตายของปลา เมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น แต่วัตถุดิบพืชที่นำมาใช้นั้นอาจจะมีโครงสร้างที่ปลาไม่สามารถย่อยได้ดี มีสารที่ขัดขวางการย่อยและการใช้สารอาหาร และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิดในปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ (Tacon, 1991) ทำให้อาหารถูกย่อยได้น้อย และสารอาหารบางส่วนไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ มีผลทำให้สูญเสียสารอาหารไปในอุจจาระของปลาและการขับถ่ายออกสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากการเลี้ยงปลากระพงส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงในกระชัง ของเสียที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะมีผลโดยตรงต่อแหล่งน้ำบริเวณที่มีการเลี้ยงปลาและบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะมีผลต่อความยั่งยืนของการเลี้ยงปลากระพงในอนาคต การศึกษาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ปลาป่นด้วยวัตถุดิบพืชชนิดต่างๆ จึงนับว่ามีความสำคัญ จากการศึกษาของ Tantikitti และคณะ (2005) พบว่า เมื่อระดับของกากถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นจะมีของเสียไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น โดยระดับการแทนที่ที่ดีที่สุดที่ทำให้การเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลา

ป่นเป็นแหล่งโปรตีน และมีของเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำที่สุด คือการแทนที่ที่ระดับ 10% ของโปรตีนจากปลาป่น

ปริมาณของเสียอินทรีย์สารที่เกิดจากอาหารและการขับถ่ายของปลานั้น ยังขึ้นอยู่กับการจัดการด้านการให้อาหารด้วย โดย Merican และ Phillips (1985) รายงานว่าระดับของการให้อาหารมีผลต่อประสิทธิภาพการให้อาหารของสัตว์น้ำ และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น โดยมีการศึกษาและเสนอแนะว่าการให้อาหารในระดับต่ำที่ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เป็นระดับที่ประสิทธิภาพการให้อาหารของปลาดีที่สุด (Schwarz and Kirchgenner, 1995; Azevedo *et al.*, 1998) ขณะที่ Einen และคณะ (1995) เสนอแนะว่าการให้ปลาได้รับอาหารมากที่สุดในระดับที่ปลาเจริญเติบโตดีที่สุด จะมีผลให้ประสิทธิภาพการให้อาหารของปลาดีที่สุด ความถี่ในการให้อาหารก็มีผลต่อการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำเช่นกัน โดย Poxton และ Lloyd (1989) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียที่ขับถ่ายนั้น นอกจากจะเกิดจากปริมาณอาหารที่กินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับเวลาและวิธีการให้อาหารด้วย โดยพบว่าปลาไหลในระยะเวลาที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็วนั้น มีการขับถ่ายแอมโมเนียสูงขึ้นเมื่อความถี่ในการให้อาหารเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหาร 2 ครั้ง/วัน

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับและความถี่ของการให้อาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการให้อาหาร และการสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของปลากระพงขาว

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การเตรียมปลาสำหรับการทดลอง

นำปลากระพงขาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.5 กรัม/ตัว (ความยาวประมาณ 3.5 ซม.) จำนวน 1,500 ตัว จากบ่อเลี้ยงของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสตูล จ.สตูล มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสทรงกลมขนาดความจุ 1 ลบ.เมตร ความเต็มประมาณ 33.29±0.23 ส่วนในพันส่วน และให้ออกซิเจนตลอดเวลา โดยให้อาหารเม็ดที่ได้รับความนิยมจากสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จ.สงขลา อนุบาลลูกปลาวันละ 2 มื้อ เพื่อฝึกให้ปลาเคยชินกับอาหารเม็ด จนกระทั่งลูกปลายอมรับอาหารเม็ดและมีน้ำหนักประมาณ

0.9 กรัม/ตัว จากนั้นจึงคัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันใส่ตู้ทดลองขนาด 30 x 60 x 45 ซม. ความจุ 81 ลิตร บรรจุ น้ำ 54 ลิตร จำนวน 36 ตัว ใช้พลาสติกสีทึบปิด 3 ด้าน เพื่อป้องกันการรบกวน พร้อมทั้งติดตั้งระบบน้ำไหลที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลิตร/นาที และระบบให้ออกซิเจนในตู้ทดลอง โดยแต่ละตู้มีปลา 30 ตัว เพื่อปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับตู้ทดลองและอาหารทดลอง จากนั้นจึงคัดปลาในแต่ละตู้ทดลองเหลือ 15 ตัว ให้มีขนาดใกล้เคียงกันโดยชั่งน้ำหนักด้วยการแทนที่น้ำ โดยน้ำหนักเริ่มต้นของปลาทดลองมีค่าเฉลี่ย 2.04 ± 0.06 กรัม/ตัว

การเตรียมอาหารทดลอง

สร้างสูตรอาหารทดลอง 3 สูตร ให้มีระดับโปรตีน 40% และไขมัน 10% ทุกชุดการทดลอง (คัดแปลงจากมะลิ และคณะ, 2539) โดยมีโปรตีนจากถั่วเหลืองแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 0, 10, 20% ของโปรตีนจากปลาป่นในอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และมีส่วนประกอบของอาหารดังแสดงใน Table 1 ผสมส่วนประกอบวัสดุอาหารให้เข้ากันดีด้วยเครื่องผสมอาหาร แล้วจึงเติมแป้งมันที่ทำให้อุดมแล้วผสมในอาหารจนวัสดุอาหารเข้ากันดีอีกครั้ง จากนั้นจึงนำอาหารเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร (Hobart) ผ่านหน้าแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. นำอาหารที่อัดเม็ดแล้วอบที่อุณหภูมิ 60°C จนกระทั่งอาหารแห้ง นำไปบรรจุในถุงพลาสติกแล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ได้แก่ โปรตีน, ไขมัน, ความชื้น และเถ้า ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) สำหรับคาร์โบไฮเดรตได้จากการคำนวณตามสูตร $100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เยื่อใย} + \text{ความชื้น})$ และฟอสฟอรัสโดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก AOAC (1990) ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง

การศึกษาเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการให้อาหาร

จัดการทดลองแบบแฟกทอเรียล (factorial experiment) ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) โดยมี 12 ชุดการทดลอง ($3 \times 2 \times 2$) ได้แก่ อาหารทดลอง 3 สูตร (ระดับการแทนที่ปลาป่นด้วย

Table 1. Ingredients and proximate composition of experimental diets

Ingredient (g/100 g)	Diet		
	s1 (0) ¹	2 (10)	3 (20)
Fish meal (63% protein) ²	53	47	42
Defatted soybean meal ² (dehulled, 46% protein)	0	8.5	16.5
Shrimp head meal	11	11	11
Rice bran	11	11	11
Fish oil	5.2	5.5	5.8
Vitamin premix ³	1.2	1.2	1.2
Mineral premix ⁴	4	4	4
BHT	.02	.02	.02
Cooked tapioca starch	2	2	2
Rice flour	10	7	4
Ground rice hull	2.58	2.78	2.48
Proximate composition			
(As fed basis) ⁵			
Crude protein	42.19	42.49	41.78
Crude lipid	11.63	12.87	12.11
Ash	16.46	17.07	16.53
Phosphorus	2.49	2.43	2.30

¹ Numbers in brackets indicate levels of soybean substitution for fish meal protein

² Local ingredients

³ (mg/kg), 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.

⁴ (mg/kg), CaHPO₄ 8, NaH₂PO₄·2H₂O 15, KH₂PO₄ 10, KCl 5.

⁵ Means of three replicate analysis

ถั่วเหลือง 3 ระดับ คือ 0, 10, 20% ระดับการให้อาหาร 2 ระดับ คือ 4% ของน้ำหนักตัว และให้กินจนอิ่ม และความถี่ของการให้อาหาร 2 ระดับ คือ 1 ครั้ง/วัน และ 2 ครั้ง/วัน ในแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ (replicate) ใช้ปลาทดลองจำนวน 15 ตัว/ซ้ำ ศึกษาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อเริ่มต้นการทดลอง เก็บตัวอย่างปลา 100 กรัม เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน และฟอสฟอรัสของซากปลาเริ่มต้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าประสิทธิภาพการให้อาหาร และไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสียในระหว่างการเลี้ยง ทำความสะอาดตู้ทดลองและดูดตะกอนก่อนให้อาหารทุกวัน บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้เพื่อทราบปริมาณอาหารที่ปลากินใน

แต่ละวัน และลักษณะผิดปกติภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การตกเลือด และการเกิดบาดแผล รวมทั้งสังเกตพฤติกรรมที่ผิดปกติในปลาแต่ละกลุ่ม และมีการใช้ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันโรคตามสภาพของปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการชั่งน้ำหนักปลา โดยไม่มีการให้อาหารก่อนการชั่งน้ำหนัก 1 วัน สลบบปลาด้วยยาสลบ 2-phenoxyethanol ความเข้มข้น 0.2 ม.ม./น้ำ 1 ลิตร ชั่งน้ำหนักและเก็บตัวอย่างปลาในแต่ละตู้ จำนวน 5 ตัว/ตู้ นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C จากนั้นนำปลาทั้งตัวไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนกระทั่งแห้ง แล้วจึงนำไปใส่โถดูดความชื้น จึงชั่งน้ำหนักหาความชื้นของตัวปลา แล้วจึงบดปลาทั้งตัวให้ละเอียดและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C ก่อนนำ

ไปวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 1990) และ ฟอสฟอรัสของซากปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตร สำหรับ ปริมาณฟอสฟอรัส ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการ วิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก AOAC (1990)

นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณ อัตราการรอด (survival rate) น้ำหนักที่เพิ่ม (weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) และ โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (productive protein value, PPV) ดังนี้

$$\text{อัตราการรอด (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (\%/วัน)} = \frac{(\ln W_2 - \ln W_1)}{T_2 - T_1} \times 100$$

W1 = น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

W2 = น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

T1 = วันที่เริ่มต้นการทดลอง

T2 = วันที่สิ้นสุดการทดลอง

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{น.น.อาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) - น.น.ปลาเมื่อเริ่มต้น (กรัม)}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)} = \frac{\text{น.น.ปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น.น.โปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}$$

$$\text{โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (\%)} = \frac{\text{โปรตีนของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น.น.โปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)}} \times 100$$

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสีย

ศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสีย โดยการนำข้อมูลสารอาหารที่ปลาได้รับ และสารอาหารที่เพิ่มขึ้นในตัวปลาใช้ในการคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสีย ตามวิธีของ Paspatis และคณะ (2000) ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{สารอาหารที่ปลาได้รับ (กรัม/ กิโลกรัมของน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น)} \\ & = \frac{1000 \times (\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว)} \times \% \text{สารอาหารในอาหาร})}{\text{น้ำหนักของตัวปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)}} \end{aligned}$$

สารอาหารที่เพิ่มขึ้นในปลา (กรัม/ตัว)

$$= \left[\frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ตัว)} \times \text{ปริมาณสารอาหารในตัวอย่างปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (\%)} - \text{น้ำหนักเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม/ตัว)} \times \text{ปริมาณสารอาหารในตัวอย่างปลาเมื่อเริ่มการทดลอง (\%)} \right]$$

สารอาหารที่สูญเสีย (กรัม/ กิโลกรัมของน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น)

$$= \frac{1000 \times (\text{สารอาหารที่ปลาได้รับ (กรัม/ตัว)} - \text{สารอาหารที่เพิ่มขึ้นในปลา (กรัม/ตัว)})}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)}}$$

เปอร์เซ็นต์สารอาหารที่สูญเสีย

$$= \frac{\text{สารอาหารที่สูญเสีย (กรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)} \times 100}{\text{สารอาหารที่ได้รับ (กรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และสารอาหารที่สูญเสีย มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) แบบแฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test

ผลการศึกษา

การเจริญเติบโต

น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และปริมาณอาหารที่กินของปลาที่ได้อาหารทดลอง 3 สูตร ที่มีระดับของการให้อาหาร และความถี่ของการให้อาหารที่ต่างกัน ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ปลาที่กินอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) ที่มีปลาเป็นแหล่งโปรตีน มีการเจริญเติบโตดีที่สุด มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ สูงที่สุด รองลงมาคือปลาที่กินอาหารสูตรที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ($p < 0.05$) โดยปลาที่กินอาหารจวนอิม มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากลุ่มที่กินอาหาร 4% ของน้ำหนักตัว และการให้อาหาร 2 ครั้ง/วันให้การเจริญเติบโตที่ดีกว่าการให้อาหารเพียง 1 ครั้ง/วัน ($p < 0.05$)

สำหรับปริมาณอาหารที่ปลากิน พบว่าระดับการแทนที่ปลาด้วยถั่วเหลืองมีผลต่อปริมาณอาหารที่ปลากิน โดย

ปลาที่กินอาหารสูตรที่ 1 กินอาหารมากที่สุด รองลงมาคือปลาที่กินอาหารสูตรที่ 2 และ 3 ที่แทนที่ปลาด้วยถั่วเหลืองที่ระดับ 10 และ 20% ของโปรตีนในปลา ตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งปลาที่กินอาหารสูตรที่ 2 และ 3 มีปริมาณอาหารที่กินลดลงประมาณ 14% และ 25% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณการกินอาหารของปลากลุ่มที่กินอาหาร 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง/วัน (Table 3) พบว่า กลุ่มที่กินอาหาร 2 ครั้งมีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 34.32 ± 7.93 กรัม/ตัว สูงกว่ากลุ่มที่กินอาหาร 1 ครั้ง/วัน ซึ่งมีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 30.50 ± 6.95 กรัม/ตัว ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณอาหารที่กินของปลาในกลุ่มที่กินอาหาร 4% ของน้ำหนักตัว และที่กินจวนอิมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าระดับของการให้อาหารและสูตรอาหารมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของปลา (Table 4) โดยปลาที่กินอาหารสูตรที่ 1 ที่ระดับการให้กินจวนอิมมีน้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และปริมาณอาหารที่กินสูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือปลาที่กินอาหารสูตรเดียวกัน ที่ระดับของการให้อาหาร 4% ของน้ำหนักตัว และปลาที่กินอาหารสูตรที่ 2 ที่ระดับการให้กินจวนอิม อย่างไรก็ตามปลาที่กินอาหารสูตรที่ 2 ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างจากกลุ่มที่กินอาหารสูตรเดียวกันที่กินจวนอิม รวมทั้งมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากปลาที่กินอาหารสูตรที่ 1 ที่ระดับการให้อาหาร 4% ของน้ำหนักตัว สำหรับปลาที่กินอาหารสูตรที่ 3 ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว หรือที่ระดับการ

Table 2. Growth and feed intake of Asian seabass fed diets with soybean meal replacing fish meal protein at different feeding levels and feeding frequencies

Diet	Feeding level	Feeding frequency (time/day)	Initial body weight(g/fish)	Weight gain (g/fish)	Feed intake (g/fish)	SGR ³ (%/day)
1(0) ¹	4%	1 time	2.16±0.062	32.20±3.42	34.02±1.79	3.29±0.10
		2 times	2.03±0.15	34.85±2.10	34.81±2.61	3.45±0.03
	Satiation	1 time	2.05±0.03	37.14±1.03	37.72±0.37	3.51±0.02
		2 times	1.93±0.17	47.95±10.72	47.15±11.24	3.85±0.19
2(10)	4%	1 time	2.03±0.07	28.62±1.41	31.24±1.24	3.23±0.07
		2 times	2.03±0.03	30.75±1.24	32.71±1.76	3.31±0.05
	Satiation	1 time	2.21±0.04	31.77±3.22	35.17±0.23	3.25±0.10
		2 times	2.10±0.16	34.19±1.78	33.50±1.82	3.40±0.11
3(20)	4%	1 time	2.03±0.15	22.96±0.65	27.41±1.26	2.99±0.05
		2 times	2.04±0.07	22.73±4.56	27.70±1.11	2.96±0.25
	Satiation	1 time	1.98±0.09	20.94±1.17	17.41±1.41	2.92±0.01
		2 times	1.98±0.16	25.84±3.41	24.43±1.99	3.14±0.18

Analysis of Variance

Diet	ns	.0001	.0001	.0001
Feeding level	ns	.0050	ns	.0019
Feeding frequency	ns	.0028	.0112	.0001
Diet* Feeding level	ns	.0155	.0006	.0014
Diet* Feeding frequency	ns	ns	ns	ns
Feeding level* Feeding frequency	ns	ns	ns	ns
Diet *Feeding level*Feeding frequency	ns	ns	ns	ns
Mean square error		0.01	14.14	13.24

¹ Numbers in brackets indicate levels of soybean substitution for fish meal protein

² N = 3

³ Specific growth rate: $(\ln W_2 - \ln W_1 / T_2 - T_1) \times 100$

Table 3. Effects of feeding frequency on weight gain, feed intake and specific growth rate (SGR) of Asian seabass fed diets with soybean meal replacing fish meal protein

Parameter	Feeding frequency (time/day)	
	One time	Two times
Weight gain (g/fish)	28.94±5.99 ^{1a}	33.62±8.79 ^b
Feed intake (g/fish)	30.50±6.95 ^a	34.32±7.93 ^b
SGR ² (%/day)	3.20±0.21 ^a	3.39±0.27 ^b

¹ N = 18 and means under the same parameter with the different superscripts are statistically significant (p < 0.05)

² Specific growth rate: $(\ln W_2 - \ln W_1 / T_2 - T_1) \times 100$

ให้อาหารกินจนอิ่ม มีน้ำหนักที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p >

0.05) แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่กินอาหารที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว มีปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย สำหรับอัตราการรอดตายของปลากระพงขาวที่ศึกษาในครั้งนี้อยู่ในช่วง 93.33-100%

ประสิทธิภาพการให้อาหาร

จาก Table 5 พบว่า ระดับการแทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลือง ระดับของการให้อาหาร และความถี่ของการให้อาหารมีผลร่วมกันต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ (PPV) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (ถั่วเหลืองแทนที่ 20% ของโปรตีนในปลาป่น) ที่ให้กินจนอิ่ม 1 ครั้ง/วัน มี FCR, PER และ PPV ดีที่สุด (p < 0.05) รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่ได้รับอาหารจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน สูตรที่ 1 ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว 2 ครั้ง/วัน สูตร

Table 4. Growth of Asian seabass fed diets with soybean meal replacing fish meal protein at different feeding levels

Diet	Feeding level (g/fish)	Initial body weight (g/fish)	Weight gain (g/fish)	Feed intake (%/day)	SGR ³
1(0) ¹	4%	2.10±0.12	33.53±2.93 ^b	34.42±2.05 ^b	3.37±0.11 ^b
	Satiation	1.99±0.12	42.54±9.02 ^a	42.43±8.80 ^a	3.68±0.22 ^a
2(10)	4%	2.03±0.05	29.69±1.67 ^{bcd}	31.97±1.58 ^b	3.27±0.07 ^b
	Satiation	2.15±0.12	32.98±2.68 ^b	34.33±1.48 ^b	3.32±0.12 ^b
3(20)	4%	2.03±0.11	23.92±1.40 ^{cd}	27.76±1.06 ^{bc}	3.03±0.07 ^c
	Satiation	1.98±0.12	23.39±3.52 ^d	22.42±5.70 ^c	3.03±0.17 ^c
Analysis of variance					
Diet		ns	0.0001	0.0001	0.0001
Feeding level		ns	0.0050	ns	0.0019
Diet x Feeding level		ns	0.0155	0.0006	0.0014
Mean square error		0.01	14.14	13.24	0.0100

¹ Numbers in brackets indicate levels of soybean substitution for fish meal protein² N = 3 and means within the same column with the same superscript are not statistically different (p>0.05)³ Specific growth rate: $(\ln W_2 - \ln W_1 / T_2 - T_1) \times 100$

ที่ 2 ได้รับอาหารจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน และสูตรที่ 1 ได้รับอาหารจนอิ่ม 1 ครั้ง/วัน ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว 1 ครั้ง/วัน สูตรที่ 2 ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว (ทั้ง 2 ความถี่ของการให้อาหาร) สูตรที่ 2 ที่ได้รับอาหารจนอิ่ม 1 ครั้ง/วัน และสูตรที่ 3 ที่ได้รับอาหารจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำใกล้เคียงกัน โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว 1 ครั้ง/วัน มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำที่สุด

ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสีย

ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับและสูญเสีย เมื่อได้รับอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยกากถั่วเหลือง ในระดับการให้อาหารและความถี่ของการให้อาหารที่ต่างกัน ดังแสดงใน Table 6 โดยปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของกากถั่วเหลืองในอาหาร แต่มีความแตกต่างกันตามระดับและความถี่ของการให้อาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว (ทั้ง 2 ความถี่ของการให้อาหาร) มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสียสูงที่สุด (p<0.05) คือ ไนโตรเจนที่สูญเสียมีค่า 64.05±0.03 - 65.39±1.25% ของปริมาณไนโตรเจนที่ปลากิน และฟอสฟอรัสที่สูญเสียใน

ช่วง 66.90±1.92 - 67.24±0.24% ของปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลากิน รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่ให้กินจนอิ่ม 1 ครั้ง/วัน โดยกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 ที่ให้กินจนอิ่ม 1 ครั้ง/วัน มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสียต่ำที่สุด เท่ากับ 51.80±0.60% และ 55.56±1.77% ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ที่ให้กินจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน มีการสูญเสียต่ำรองลงมา (p<0.05) มีค่าเท่ากับ 55.73±1.68 และ 60.84±2.23 สำหรับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตามลำดับ

วิจารณ์ผล

ปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นมีการเจริญเติบโตที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาในปลากินเนื้อชนิดอื่น เช่น ปลาเรนโบว์เทรา (Alexis, 1990) และปลาแอทแลนติกแซลมอน (Carter et al., 1994; Olli et al., 1995) โดยการเจริญเติบโตที่ลดลงมีผลมาจากปริมาณอาหารที่กินลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Hajen และคณะ (1993) ที่พบว่า ปลาชินุกแซลมอน (chinok salmon) กินอาหารลดลงเมื่ออาหารมีถั่วเหลืองที่ระดับ 15 และ 30% แต่จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหารของปลากระพงที่

Table 5. Feed and protein utilization of Asian seabass fed diets with soybean meal replacing fish meal protein at different feeding levels and frequencies

Diet	Feeding level	Feeding frequency	FCR ³	PER ⁴	PPV ⁵
1(0) ¹	4%	1 time	1.06 ± 0.13 ^{bc2}	2.25 ± 0.27 ^{bcde}	40.55 ± 5.66 ^{bcde}
		2 times	1.00 ± 0.06 ^{bc}	2.38 ± 0.14 ^{bcd}	43.10 ± 2.24 ^{bc}
	Satiation	1 time	1.02 ± 0.03 ^{bc}	2.33 ± 0.06 ^{bcde}	41.47 ± 0.31 ^{bcd}
		2 times	0.98 ± 0.02 ^c	2.42 ± 0.06 ^{bc}	44.27 ± 1.58 ^{ab}
2(10)	4%	1 time	1.09 ± 0.03 ^{abc}	2.19 ± 0.07 ^{cdef}	38.38 ± 0.53 ^{cdef}
		2 times	1.06 ± 0.03 ^{bc}	2.25 ± 0.07 ^{bcde}	39.46 ± 1.39 ^{cde}
	Satiation	1 time	1.11 ± 0.11 ^{ab}	2.16 ± 0.21 ^{def}	38.15 ± 4.54 ^{def}
		2 times	0.98 ± 0.03 ^c	2.45 ± 0.08 ^b	42.01 ± 1.88 ^{bcd}
3(20)	4%	1 time	1.19 ± 0.04 ^a	1.97 ± 0.06 ^f	34.37 ± 1.24 ^f
		2 times	1.11 ± 0.01 ^{ab}	2.11 ± 0.14 ^{ef}	35.87 ± 0.66 ^{ef}
	Satiation	1 time	0.83 ± 0.04 ^d	2.84 ± 0.12 ^a	47.86 ± 0.56 ^a
		2 times	1.07 ± 0.06 ^{bc}	2.21 ± 0.12 ^{bcdef}	37.77 ± 2.04 ^{def}
Analysis of variance					
Diet			ns	ns	0.0108
Feeding frequency			ns	ns	ns
Feeding level			0.0002	0.0001	0.0007
Diet*Feeding frequency			ns	0.0022	0.0053
Diet*Feeding level			0.0010	0.0004	0.0027
Feeding Frequency*Feeding level			ns	ns	ns
Diet*Feeding level*Feeding frequency			0.0016	0.0005	0.0058
Mean Square Error			0.004	0.02	6.28

¹ Numbers in brackets indicate levels of soybean substitution for fish meal protein

² N=3 and means within the same column with the same superscript are not statistically different (p>0.05)

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

⁴ Protein efficiency ratio = Weight gain (g/fish)/Protein intake (g/fish)

⁵ Productive protein value = [Protein gain (g/fish)/Protein intake (g/fish)] x100

ได้รับอาหารชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การจัดการการให้อาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลือง สกัดน้ำมันแทนที่ 10% ของโปรตีนในปลาป่น (สูตรที่ 2) ที่ ให้กินจนอิ่ม มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากปลาได้รับ อาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่ระดับ 4% ของ น้ำหนักตัว และเมื่อปลาได้รับอาหารสูตรดังกล่าว โดยให้กิน จนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ มีค่าที่ไม่ ต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน หลักที่ให้กินจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการเจริญ เติบโตดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าปลากะพงสามารถใช้อาหารที่มี กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 10% ของ โปรตีนในปลาป่น หากมีการให้อาหารในระดับและความถี่ที่ เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปริมาณอาหารที่ให้กินเพิ่มขึ้นจะ

ทำให้ประสิทธิภาพของการใช้สารอาหารและการเจริญเติบโต ของปลาเพิ่มขึ้น (Charles *et al.*, 1984; Carter *et al.*, 2001) และถึงแม้ว่าปลาจะใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีวิตใน ระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์เลือดอุ่น แต่ปลาใช้ พลังงานในการว่ายน้ำค่อนข้างสูง จึงมีผลต่อการเจริญเติบโต ของปลาเมื่อได้รับอาหารในระดับคงที่ (Fixed ration) โดย จะทำให้การเจริญเติบโตลดลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ ได้รับอาหารจนอิ่ม (White and Li, 1985) นอกจากนี้ การว่ายน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลไปกระตุ้นให้ปลากินอาหารเพิ่มมาก ขึ้น ทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า เช่นเดียวกับผลการศึกษ ครั้งนี้ที่พบว่าปลากะพงที่ได้รับอาหาร 2 ครั้ง/วัน กินอาหาร ในปริมาณที่มากกว่าและมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าปลาที่ได้รับ อาหารเพียง 1 ครั้ง/วัน โดยความถี่ที่เหมาะสมในปลาชนิด ต่างๆ มีความแตกต่างกัน (Charles *et al.*, 1984) สำหรับ

Table 6. N and P intake and loss of Asian seabass fed diets with soybean meal replacing fish meal protein at different feeding levels and frequencies

Diet	Feeding level	Feeding frequency (time/day)	N intake ³ (g/kg wt. gain)	N loss		P intake (g/kg wt. gain)	P loss	
				(g/kg wt. gain) ⁴	(% of intake)		(g/kg wt. gain)	(% of intake)
1(0) ¹	4%	1 time	71.88±8.732 ^{bc}	43.05±9.27 ^{bcd}	59.44±5.50 ^{bcde}	26.52±3.22 ^{bc}	17.37±3.21 ^{abcde}	65.19±4.19 ^{abc}
		2 times	67.46±4.02 ^{bc}	38.45±3.74 ^{cd}	56.91±2.23 ^{de}	24.88±1.48 ^{bc}	15.68±1.27 ^{cde}	62.97±1.59 ^{bcd}
	Satiation	1 time	68.59±1.74 ^{bc}	40.10±2.07 ^{bcd}	58.46±2.14 ^{cde}	25.30±0.64 ^{bc}	16.16±0.78 ^{bcde}	63.88±2.13 ^{bcd}
		2 times	66.20±1.67 ^c	36.91±1.10 ^d	55.73±1.68 ^{ef}	24.42±0.61 ^c	14.87±0.83 ^c	60.87±2.23 ^d
2(10)	4%	1 time	73.73±2.09 ^{abc}	45.71±1.67 ^{abc}	61.98±0.53 ^{abc}	27.20±0.77 ^{abc}	18.02±1.00 ^{abcde}	66.21±1.87 ^{abc}
		2 times	71.76±2.06 ^{bc}	43.73±1.91 ^{bcd}	60.92±1.39 ^{abcde}	26.47±0.76 ^{bc}	17.19±0.78 ^{abcde}	64.91±1.09 ^{abcd}
	Satiation	1 time	75.24±7.47 ^{ab}	47.04±8.03 ^{ab}	62.23±4.50 ^{abc}	27.75±2.76 ^{ab}	18.13±2.64 ^{abc}	65.14±3.21 ^{abc}
		2 times	66.15±2.11 ^c	38.65±2.37 ^{cd}	58.40±1.88 ^{cde}	24.40±0.78 ^c	15.16±0.59 ^{de}	62.11±0.63 ^{cd}
3(20)	4%	1 time	80.57±2.54 ^a	52.71±2.59 ^a	65.39±1.25 ^a	29.72±0.94 ^a	19.89±1.04 ^a	66.90±1.92 ^{ab}
		2 times	75.31±0.34 ^{ab}	48.24±0.20 ^{ab}	64.05±0.03 ^{ab}	27.78±0.13 ^{ab}	18.68±0.15 ^{ab}	67.24±0.24 ^a
	Satiation	1 time	56.09±2.40 ^d	29.07±1.55 ^c	51.80±0.60 ^f	20.69±0.89 ^d	11.50±0.75 ^f	55.56±1.77 ^e
		2 times	72.01±4.07 ^{bc}	44.42±4.01 ^{bcd}	61.61±2.19 ^{abcd}	26.56±1.50 ^{bc}	17.13±1.31 ^{abcde}	64.44±1.48 ^{abcd}
Analysis of variance								
Diet			ns	0.0280	0.0026	0.0058	0.0134	0.0314
Feeding level			0.0004	0.0006	0.0002	0.0004	0.0001	0.0001
Feeding frequency			ns	ns	ns	ns	ns	ns
Diet*Feeding level			0.0144	0.0181	0.0074	0.0144	0.0081	0.0013
Diet*Feeding frequency			0.0019	0.0022	0.0012	0.0024	0.0058	
Feeding level*Feeding frequency			ns	ns	ns	ns	ns	ns
Diet*Feeding level *Frequency			0.0017	0.0044	0.0090	0.0017	0.0051	0.0188
Mean Square Error			17.05	18.25	6.54	2.32	2.23	4.70

¹ Numbers in brackets indicate levels of soybean substitution for fish meal protein

² N=3 and means within the same column with the same superscript are not statistically different (p>0.05)

³ Nutrient intake (g/kg wt. gain) = 1000 x [Feed consumption (g/fish) x Feed nutrient content (%) / Weight gain (g/fish)]

⁴ Nutrient loss (g/kg wt. gain) = 1000 x [(Nutrient intake (g/fish) - Nutrient gain (g/fish)) / Weight gain (g/fish)]

ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ 20% ของโปรตีนในปลาป่น) ที่ให้กินจนอิ่ม 1 ครั้ง/วัน ที่พบว่า มี FCR, PER และ PPV ดีที่สุด ถึงแม้ว่าจะมีการเจริญเติบโตที่ต่ำคือมีน้ำหนักที่เพิ่มและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุดเพียง 20.94±1.17 กรัม/ตัว และ 2.92%/วัน ตามลำดับ อาจเป็นเพราะปริมาณอาหารที่กินในระดับที่ต่ำมากเพียง 17.41±1.41 กรัม/ตัว เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอาหารที่กินของปลาที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกัน ที่กินจนอิ่ม 2 ครั้ง/วันที่มีปริมาณ 27.43±1.99 กรัม/ตัว ส่วนปริมาณอาหารที่กินของปลาที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัว ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.76±1.06 กรัม/ตัว สูงกว่าที่ให้กินจนอิ่ม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.42±5.70 กรัม/ตัวนั้น อาจเกิดจากการสูญเสียอาหารไปในน้ำ และมีผลทำให้ FCR ของปลาในกลุ่มดังกล่าวมีค่าสูงตามไปด้วย

ปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของกากถั่วเหลืองในอาหาร โดยปลา

ที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก มีปริมาณโปรตีนและวัตถุแห้งสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับผลการศึกษาในปลากระพงของ Tantikitti และคณะ (2005) ที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10, 20, 30, 40 และ 50% ของโปรตีนในปลาป่น และพบว่า การขับถ่ายและการสูญเสียไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับระดับการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น และระดับที่มีการสูญเสียไนโตรเจนน้อยที่สุด โดยปลาที่มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมคือที่ระดับ 10% ของโปรตีนในปลาป่น จากการศึกษานี้ยังพบว่า ทั้งสูตรอาหาร ระดับการให้อาหาร และความถี่ของการให้อาหารมีผลร่วมกันต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสีย ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ที่ให้กินจนอิ่ม 2 ครั้ง/วัน มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูญเสียไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่ให้กินจนอิ่ม และเมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่ม

ปลาที่ได้รับอาหารสูตรเดียวกัน พบว่าการให้อาหารที่ระดับให้กินจนอิ่มจะช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ เนื่องจากปลาที่ได้รับอาหารจนอิ่มมีประสิทธิภาพการใช้สารอาหารและพลังงานที่ดีกว่า ดังเช่น Guinea และ Fernandez (1997) พบว่า ปลา *Sparus aurata* สูญเสียพลังงานน้อยลงเมื่อระดับของอาหารที่กินเพิ่มขึ้น และ Medale และคณะ (1995) ซึ่งศึกษาการขับถ่ายไนโตรเจนในปลาเทราท์ที่ได้รับอาหารในระดับที่สูง (1.5 และ 2% ของน้ำหนักตัว) เปรียบเทียบกับระดับที่ต่ำ (0.4 และ 1% ของน้ำหนักตัว) พบว่า ปลากลุ่มที่ได้รับอาหารระดับต่ำมีการขับถ่ายไนโตรเจนสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารระดับที่สูง เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ เช่นเดียวกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ซึ่งพบว่าปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ระดับ 4% ของน้ำหนักตัวมีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารจนอิ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะเวลาที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วซึ่งมีความต้องการอาหารในระดับที่มากกว่า 4% น้ำหนักตัว

ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทั้งระดับและความถี่ของการให้อาหารมีผลต่อการใช้และการสูญเสียสารอาหารของปลา ในการศึกษาครั้งนี้ปลาสามารถใช้อาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลืองสกัดน้ำมันได้ดีขึ้นและมีการสูญเสียสารอาหารลดลงเมื่อให้อาหารในระดับที่ให้กินจนอิ่มที่มีความถี่ 2 ครั้ง/วัน ดังนั้นการแทนที่ปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืชชนิดต่างๆ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการจัดการให้อาหารที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- มะลิ บุญรัตน์ผลิน ประวิทย์ สุรนิรรณ และธำมรงค์ ตันกิบาล. 2539. การแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดต่างๆ ในอาหารปลากะพงขาว. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, สงขลา. 30 หน้า
- Alexis, M. N. 1990. Comparative evaluation of soybean meal as dietary ingredients for rainbow trout fingerlings. *Aquat. Living Resour.* 3, 235-241.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Fifteenth edition, Washington, D.C. 1298 p
- Arndt, R.E., Hardy, R.W., Sugiura, S.H., Dong, F.M., 1999. Effects of heat treatment and substitution level on palatability and nutritional value of soy

- defatted flour in feeds for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Aquaculture* 180, 129-145
- Azevedo, P.A., Cho, C.Y., Leeson, S., Bureau, D.P. 1998. Effects of feeding level and water temperature on growth, nutrient and energy utilization and waste outputs of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquat. Living Resour.* 11, 227-238
- Ballestrazzi, R., Lanari, D. Agaro, D.E., Mion, A., 1994. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 127, 197-206.
- Boonyaratpalin, M., Suraneiranat, P., Tumpibal, T. 1998. Replacement of fishmeal with various type of soybean products in diets for Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 161, 67-78.
- Carter, C.G., Hauler, R.C. 2000. The influence of replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture* 185, 299-311.
- Carter, C.G., Houlihan, D.F., Buchanan, B., Mitchell, A.I. 1994. Growth and feed utilization efficiencies of Atlantic salmon fed a diet containing supplementary enzymes. *Aquacult. Fish. Manage.* 25, 37-46.
- Carter, C., Houlihan, D., Kiessling, A., Medale, F., Jobling, M. 2001. Physiological effect of feeding. **In:** Food Intake in Fish. pp. 297-331. D. Houlihan, T. Boujard and M. Jobling (eds.), Blackwell Science, Oxford
- Charles, P.M., Sebastian, S.M., Cross Victor Raj, M., Marian, M.P. 1984. Effect of feeding frequency on growth and food conversion of *Cyprinus carpio* fry. *Aquaculture* 40, 293-300
- Einen, O., Holmejord, I., Asgard, T., Talbot, C. 1995. Auditing nutrient discharges from fish farm: theoretical and practical considerations. *Aquac. Res.* 701-713.
- Elangovan, A., Shim, K.F. 2000. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*). *Aquaculture* 189, 133-144.

- Guinea, J., Fernandez, F. 1997. Effect of feeding frequency, feeding level and temperature on energy metabolism in *Sparus aurata*. *Aquaculture* 148, 125-142
- Hajen, W.E., Higgs, D.A., Beames, R.M., Dosanjh, B.S. 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture* 112, 333-348.
- Kissil, G.W., Lupatsch, I., Higgs, D.A., Hardy, R.W. 2000. Dietary substitution of soy and rapeseed protein concentrates for fish meal, and their effects on growth and nutrient utilization in gilthead seabream *Sparus aurata* L. *Aquacult. Res.* 31, 595-601
- Medale, F., Brauge, F., Vallee, F., Kaushik, S.J. 1995. Effects of dietary protein/energy ratio, ration size, dietary energy source and water temperature on nitrogen excretion in rainbow trout. *Wat. Sci. Tech.* 31, 185-194
- Merican, Z.O., Phillips, M.J. 1985. Solid waste production from rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, cage culture. *Aquacult. Fish. Manage.* 16, 55-69
- Olli, J.J., Krogdahl, A., Vabeno, A. 1995. Dehulled solvent-extracted soybean meal as a protein source in diets for Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquacult. Res.* 26, 167-174.
- Paspatis, M., Boujard, T., Maragoudaki, D., Kentouri, M. 2000. European sea bass growth and N and P loss under different feeding practices. *Aquaculture* 184, 77-88.
- Poxton, M.G., Lloyd, N.J. 1989. Fluctuations in ammonia production by eels (*Anguilla anguilla* L.) as a result of feeding strategy. p. 1125-1135. **In:** *Aquaculture-and Biotechnology in Progress*. Vol.2 E. De Pauw, E. Jaspers, H. Ackefors and N. Wilkins (eds.), European Aquaculture Society, Bredene, Belgium.
- Refstie, S., Storebakken, T., Roem, A.J. 1998. Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean meal with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectin and soya antigens. *Aquaculture* 162, 301-302.
- Robaina, L., Izquierdo, M.S., Moyamo, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D. Fernandez-Palacios, H., 1995. Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*), nutritional and histological implication. *Aquaculture* 130, 219-233.
- Schwarz, F.J., Kirchgenner, M. 1995. Effects of different diets and levels of feeding on retention and efficiency of utilization of energy and protein by carp. *J. Appl. Ichthyol.* 11, 363-366.
- Tacon, A.G.J., 1991. *Standard Methods for the Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp*. Volume 1, The Essential Nutrients. Argent Laboratories Press. Washington.
- Tantikitti, C., Sangpong, W., 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
- White, J.R. and Li, H.W., 1985. Determination of the energetic cost of swimming from the analysis of growth rate and body composition in juvenile chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Comp. Biochem. Physiol.* 81A, 25-33