การเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอาหารปลากะพงขาว กุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม ระยะวัยรุ่นที่ใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกในอัตราสูง

Supplementation with Lysine and Methionine in High Alternative Protein Based Diets of Juvenile Asian Sea Bass, Giant Tiger Shrimp and Pacific White Shrimp

พิเชต พลายเพชร[1*], ปิยารมณ์ คงขึม[2], ธนิกานต์ บัวทอง[1] และ สกนธ์ แสงประดับ[1]

Pichet Plaipetch[1*], Piyarom KhongKhuem[2], Tanikan Buathong[1] and Sakon Saengpradab[1]

[1]*ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำชลบุรี กรมประมง*

[2]ศูนย์ควบคุมการแจ้งเรือเข้า-ออกกระบี่ กรมประมง

[1]*Chonburi Aquatic Animal Feed Technology Research and Development Center, Department of Fisheries*

[2]Krabi Port In-Port Out Center*, Department of Fisheries*

Received : 27 January 2019

Revised : 9 April 2019

Accepted : 29 May 2019

บทคัดย่อ

ศึกษาการเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอาหารปลากะพงขาว กุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่ใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกในอัตราสูง การทดลองในปลากะพงขาว อาหารสูตรควบคุมใช้ปลาป่น 35% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 39% (สูตร 1) และอาหารทดสอบอีก 4 สูตร ที่ใช้ปลาปน 10% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 71% ที่เสริมไลซีน และเมไทโอนีนสังเคราะห์ 4 รูปแบบ คือ ไม่เสริม (สูตร 2) เสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตราที่ทำให้มีปริมาณเท่ากับที่พบในอาหารสูตรควบคุมหรือเรียกว่าอัตราการเสริมปกติ (สูตร 3) เสริมในอัตรา 1.25 เท่าของอัตราการเสริมปกติ (สูตร 4) และเสริมในอัตรา 1.50 เท่าของอัตราการเสริมปกติ (สูตร 5) ตามลำดับ เลี้ยงปลาที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 10 กรัม ด้วยอาหารแต่ละสูตรๆ ละ 3 ซ้ำ แบบกินจนอิ่ม วันละ 3 ครั้ง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 มีอัตราเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและต้นทุนค่าอาหาร ไม่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม ($p>0.05$) แต่ดีกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ขณะที่อัตรารอดตายและปริมาณอาหารที่กินของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) การทดลองในกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม อาหารสูตรควบคุมใช้ปลาป่น 25 และ 20% ตามลำดับ และใช้แหล่งโปรตีนทางเลือก 40% ขณะที่อาหารทดสอบของกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมอีก 4 สูตร ใช้ปลาป่น 10 และ 5% ตามลำดับ ใช้แหล่งโปรตีนทางเลือก 61% และเสริมไลซีนและเมไทโอนีนรูปแบบเดียวกับปลากะพงขาว เลี้ยงกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 1 และ 0.6 กรัม ตามลำดับ ด้วยอาหารทดลองแต่ละสูตร 3 ซ้ำ วันละ 6 % ของน้ำหนักตัว แบ่งให้ 3 ครั้ง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ากุ้งทั้งสองชนิดที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีอัตราเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร ต้นทุนค่าอาหาร อัตรารอดตายและปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

คำสำคัญ : ไลซีน, เมไทโอนีน, ปลากะพงขาว, กุ้งกุลาดำ, กุ้งขาวแวนนาไม

*Corresponding author. E-mail : picet28@yahoo.com

Abstract

Supplementation with lysine and methionine in high alternative protein based diets of juvenile Asian sea bass, giant tiger shrimp and Pacific white shrimp were studied. In Asian sea bass trial, control diet contained 35% fishmeal and 39% alternative protein sources (diet 1). Other four test diets contained 10% fishmeal and 71% alternative protein sources supplemented with synthetic lysine and methionine by four regimes consisted of non-supplemented (diet 2) supplemented with rate to meet dietary amounts found in control diet or called normal supplementation rate (diet 3) supplemented higher than normal rate by 1.25 times (diet 3) and by 1.50 times (diet 4), respectively. Three fish groups, approximately 10 g were fed each diet to an apparent satiation by three times a day for 8 weeks. Non-significant differences of specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PER) and feed cost (FC) were observed between fish fed diet 5 and control diet ($p>0.05$), but showed highly significant higher than those of fish fed other diets ($p<0.01$). Non-significant differences of survival rate (SR) and feed intake (FI) were observed among fish fed all test diets ($p>0.05$). In giant tiger shrimp and Pacific white shrimp trials, control diets contained 25 and 20% fishmeal, respectively and equally contained 40% alternative protein sources. Other four test diets contained 10 and 5% fishmeal, respectively and equally contained 61% alternative protein sources supplemented with lysine and methionine by regimes as did in Asian sea bass trial. Three groups of both giant tiger shrimp and Pacific white shrimp, approximately 1 and 0.6 g, respectively were fed each diet by 6% of body weight a day divided into three times for 8 weeks. The results showed that non-significant differences of SGR, FCR, PER, FC, SR and FI were observed among both shrimp fed all test diets ($p>0.05$).

Keywords: lysine, methionine, Asian sea bass, giant tiger shrimp, Pacific white shrimp,

บทนำ

ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตอาหารสัตว์น้ำเนื่องจากโปรตีนสูง มีสารดึงดูดการกินและมีกรดอะมิโนจำเป็นที่สมดุล (NRC, 1993) อย่างไรก็ตาม การใช้ปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำมีแนวโน้มไม่ยั่งยืนเนื่องจากปลาป่นมีราคาสูงขึ้น รวมทั้งมีความกังวลของภาคส่วนต่างๆ เกี่ยวกับการแย่งชิงปลาที่เป็นอาหารมนุษย์ของการผลิตปลาป่น (Naylor *et al*., 2000) อุปสรรคเหล่านี้ทำให้นักโภชนาการอาหารสัตว์น้ำทั้งภาครัฐและเอกชนจำเป็นต้องค้นคว้าวิจัยเพื่อหาแหล่งโปรตีนทางเลือกสำหรับแทนที่ปลาป่นในสูตรอาหารให้ได้มากที่สุดโดยไม่กระทบการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหาร ทั้งนี้การแทนที่ปลาป่นด้วยแหล่งโปรตีนทางเลือกที่ผลิตในประเทศนับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรหรือผู้ผลิตแหล่งโปรตีนทางเลือกนั้นๆ และช่วยลดการนำเข้าวัตถุดิบอาหารสัตว์จากต่างประเทศ ปัจจุบันมีแหล่งโปรตีนทางเลือกในประเทศที่น่าสนใจ เช่น กากถั่วดาวอินคา กากเมล็ดทานตะวัน กากยีสต์จากการหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (Spent brewer's yeast) และสาหร่ายทะเล (สาหร่ายผมนางและสาหร่ายหนาม) เนื่องจากมีงานวิจัยหลายเรื่องที่บ่งชี้ว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์เหล่านี้มีศักยภาพสำหรับการผลิตอาหารสัตว์น้ำ เช่น การใช้ถั่วดาวอินคาในสูตรอาหารปลาเปคูดำและปลาเทร้าต์อเมริกาใต้ (Araújo-Dairiki *et al*., 2018) การใช้กากเมล็ดทานตะวันในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไม กุ้งกุลาดำ ปลาเรนโบว์ เทร้าต์และปลากิลต์เฮด ซีบรีม ((Tacon *et al*., 1984; Lozano *et al*., 2007; Dayal *et al*., 2011; Rajesh, 2014) การใช้กากยีสต์ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงยุโรป (Oliva-Teles & Goncalves, 2001; Guo *et al*., 2019) และการใช้สาหร่ายผมนางในสูตรอาหารกุ้งกุลาดำ กุ้งขาว

แวนนาไมและปลากะพงยุโรป (Valente *et al*., 2006; Briggs & Funge-Smith, 2008; Rodríguez-González *et al*., 2014)

อย่างไรก็ตาม การแทนที่ปลาป่นในสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยแหล่งโปรตีนทางเลือกบางชนิด เช่น โปรตีนพืช ทำให้อาหารขาดแคลนกรดอะมิโนจำเป็นโดยเฉพาะไลซีนและเมไทโอนีน (Glencross, 2003) ทั้งนี้โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการเสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์เพื่อให้มีระดับเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำแต่ละชนิดตามช่วงอายุ อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้อาจไม่เหมาะสมหากมีการใช้แหล่งโปรตีนพืชในอัตราสูงหรือใช้หลากหลายชนิด เนื่องจากทำให้สารต้านโภชนาการ (Anti-nutritional factor, ANF) ในอาหารที่เพิ่มขึ้นทั้งชนิดและปริมาณและส่งผลกระทบต่อการย่อยและการใช้ประโยชน์กรดอะมิโนของสัตว์น้ำได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์ในอาหารปลากะพงขาว กุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่ใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกในอัตราสูง ได้แก่ การไม่เสริม การเสริมในอัตราที่ทำให้กรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณเท่ากับที่พบในอาหารสูตรควบคุมหรือเรียกว่าอัตราการเสริมปกติ การเสริมในอัตรา 1.25 และ 1.50 เท่าของอัตราการเสริมปกติ ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับอาหารสูตรควบคุมที่ใช้ปลาป่นในอัตราสูงและใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกในอัตราปานกลาง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองย่อย คือ ปลากะพงขาว กุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม วางการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) ทำ 3 ซ้ำ โดยแหล่งโปรตีนทางเลือกและอาหารทดสอบมี ดังนี้

แหล่งโปรตีนทางเลือก

แหล่งโปรตีนทางเลือกในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แหล่งโปรตีนจากสัตว์ (ไก่ป่น เปลือกกุ้งป่นและหมึกป่น) แหล่งโปรตีนจากพืช (กากถั่วเหลือง หวีตกลูเต้น กากถั่วดาวอินคาและกากเมล็ดทานตะวัน) และแหล่งโปรตีนจากจุลชีพและสาหร่ายทะเล (กากยีสต์ สาหร่ายผมนางและสาหร่ายหนาม) โดยแหล่งโปรตีนทางเลือกที่ใช้ในอาหารปลากะพงขาวสูตรควบคุม คือ กากถั่วเหลือง เปลือกกุ้งป่นและหมึกป่น ขณะที่อาหารทดสอบที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกทุกชนิดดังที่กล่าวมาข้างต้นยกเว้นหวีตกลูเต้นที่ใช้เฉพาะในสูตรอาหารกุ้ง ส่วนแหล่งโปรตีนทางเลือกที่ใช้ในอาหารกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมสูตรควบคุม คือ กากถั่วเหลือง เปลือกกุ้งป่น หมึกป่นและหวีตกลูเต้น ขณะที่อาหารทดสอบที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกทุกชนิด ทั้งนี้แหล่งโปรตีนทางเลือกที่ยังไม่นิยมใช้ในการผลิตอาหารเชิงพาณิชย์ของสัตว์น้ำทั้ง 3 ชนิด คือ กากเมล็ดทานตะวัน กากถั่วดาวอินคา กากยีสต์และสาหร่ายทะเล (ผมนางและสาหร่ายหนาม) โดยในการศึกษานี้ใช้ในอัตรา 10, 5, 5 และ 2% ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าอัตราที่แนะนำในงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อป้องกันผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของสัตว์ทดลองที่อาจเกิดจากอิทธิพลร่วมของการใช้วัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดร่วมกัน เนื่องจากอัตราแนะนำจากงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการใช้วัตถุดิบชนิดเดี่ยวๆ เพื่อแทนที่ปลาป่น เช่น ใช้กากเมล็ดทานตะวันในสูตรอาหารปลาเรนโบว์ เทร้าต์ ปลากิลต์เฮด ซีบรีมและกุ้งขาวแวนนาไม ได้ในอัตรา 22, 24 และ 56% ตามลำดับ (Tacon *et al*., 1984; Lozano *et al*., 2007; Rajesh, 2014) ใช้กากถั่วดาวอินคาในสูตรอาหารปลาเปคูดำและปลาเทร้าต์อเมริกาใต้ ได้ในอัตรา 15% (Araújo-Dairiki *et al*., 2018) ส่วนการใช้กากยีสต์ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงยุโรปที่เหมาะสมคือ 18 และ 33% ตามลำดับ (Oliva-Teles & Goncalves, 2001; Guo *et al*., 2019) และอัตราการใช้สาหร่ายที่เหมาะสมในสูตร กุ้งกุลาดำ กุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงยุโรป คือ 15, 15 และ 10% ตามลำดับ (Valente *et al*., 2006; Briggs & Funge-Smith, 2008; Rodríguez-González *et al*., 2014)

สูตรอาหารปลากะพงขาว

อาหารสูตรควบคุมใช้ปลาป่น 35% ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของระดับปลาป่นที่นิยมในการผลิตอาหารปลากะพงขาวเชิงพาณิชย์ (Tacon & Metian, 2008) และใช้แหล่งโปรตีนทางเลือก 39% ส่วนสูตรอาหารทดสอบอื่นๆ ใช้ปลาป่น 10% แหล่งโปรตีนทางเลือก71% และเสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์ด้วยรูปแบบต่างๆ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสูตรควบคุม (สูตร 1)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารทดสอบที่ไม่เสริมไลซีนและเมไทโอนีน (สูตร 2)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารทดสอบที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตราที่ทำให้มีปริมาณเท่ากับที่พบในอาหารสูตรควบคุมหรือเรียกว่าอัตราการเสริมปกติ (สูตร 3)

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารทดสอบที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตรา 1.25 เท่าของอัตราการเสริมปกติ (สูตร 4)

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารทดสอบที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตรา 1.50 เท่าของอัตราการเสริมปกติ (สูตร 5)

ส่วนอาหารกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมสูตรควบคุมใช้ปลาป่น 25 และ 20% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของระดับปลาป่นที่นิยมในการผลิตอาหารกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมเชิงพาณิชย์ (Tacon & Metian, 2008) และใช้แหล่งโปรตีนทางเลือก 40% ขณะที่สูตรอาหารทดสอบอื่นๆ ใช้ปลาป่น 10 และ 5% ตามลำดับ ใช้แหล่งโปรตีนทางเลือก 61% และเสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์รูปแบบเดียวกับอาหารปลากะพงขาว

การผลิตอาหารทดลอง

ผลิตอาหารปลากะพงขาวด้วยวัตถุดิบตามสูตรที่แสดงใน ตารางที่ 1 โดยมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ ชั่งวัตถุดิบของอาหารแต่ละสูตรๆ ละ 4 กิโลกรัม หลังจากผสมให้วัตถุดิบเข้ากันแล้ว แบ่งอาหารแต่ละสูตรออกเป็น 2 ส่วนๆ ละ 2 กิโลกรัม เพื่อผลิตอาหารที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ หลังการอัดเม็ดแล้ว ทำการอบอาหารในตู้อบไอน้ำโดยใช้อุณหภูมิ 95-100 °C นาน 5 นาที จากนั้นอบอาหารในตู้อบไฟฟ้าโดยใช้อุณหภูมิ 60 °C จนอาหารแห้ง จากนั้นร่อนอาหารด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดเศษอาหารและฝุ่น ก่อนบรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาในตู้เย็น (4 °C) จนกระทั่งเริ่มการทดลองทดลองและระหว่างการทดลอง เก็บตัวอย่างอาหารแต่ละสูตรๆ ละ 300 กรัม โดยใช้อาหารขนาด 2 และ 3 มิลลิเมตร ขนาดละ 150 กรัม จากนั้นบดอาหารทั้งสองขนาดและผสมให้เข้ากันก่อนบรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง (-20 °C) ก่อนนำวิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหาร ส่วนสูตรอาหารกุ้งกุลาดำและอาหารกุ้งขาวแวนนาไมแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยการขั้นตอนการผลิตอาหาร การเก็บรักษาและการเก็บตัวอย่าง ทำเหมือนอาหารปลากะพงขาว แต่ผลิตอาหารให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ

วิธีการทดลอง

การทดลองย่อยที่ 1 (ปลากะพงขาว)

เลี้ยงปลากะพงขาวขนาด 10 กรัม ในตู้กระจกขนาด 120 ลิตร ที่บรรจุน้ำ 80 ลิตร จำนวน 15 ตู้ โดยปล่อยปลาตู้ละ15 ตัว ตู้ทดลองทุกตู้ต่อเข้ากับระบบน้ำหมุนเวียนที่ประกอบด้วยถังตกตะกอนจำนวน 2 ถัง ถังโปรตีนสกิมเมอร์ จำนวน 1 เครื่อง ถังไบโอฟิลเตอร์ จำนวน 2 ถัง และถังพักน้ำก่อนดูดน้ำกลับ จำนวน 1 ถัง เลี้ยงปลาด้วยอาหารทดลองแต่ละสูตรๆ ละ 3 ซ้ำ แบบให้กินจนอิ่ม วันละ 3 ครั้ง (เวลา 08.00, 12.00 และ 16.00 น.) โดยสังเกตจากปลาเริ่มไม่กินอาหารหรือมีอาหารเหลืออยู่ในตู้ ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำในตู้และระบบน้ำหมุนเวียนอัตรา 30-50% ทุกๆ 4 วัน ตรวจวัดคุณภาพน้ำสัปดาห์ละครั้ง ดังนี้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ด้วยเครื่อง DO meter ความเค็มวัด ด้วยเครื่อง Salinometer วัดความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ค่าความเป็นด่างด้วยวิธีไตเตรท วัดแอมโมเนียรวมด้วยวิธี Direct Nesslerization โดยใช้ Spectrophotometer และวัดไนไตรท์ด้วยวิธี Colorimetric Method โดยใช้ Spectrophotometer

(Duangsawasdi & Somsiri, 1985) ระหว่างการทดลองทำการชั่งน้ำหนักรวมทุกๆ 2 สัปดาห์ พร้อมทั้งตรวจสอบอัตรารอดตายของปลาและปริมาณอาหารที่ปลากิน การทดลองใช้ระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างปลาทั้งหมดในแต่ละตู้ ทำให้ตายโดยการแช่ในน้ำเย็นจัดก่อนทำให้แห้งด้วยวิธีฟรีซ ดราย (Freeze drying) และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ตามลำดับ

การทดลองย่อยที่ 2 (กุ้งกุลาดำ) และการทดลองย่อยที่ 3 (กุ้งขาวแวนนาไม)

การเลี้ยงกุ้งทั้งสองชนิดใช้ระบบทดลองเดียวกันกับการทดลองปลากะพงขาว โดยทำการทดลองพร้อมกันและใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกัน การทดลองในกุ้งกุลาดำใช้กุ้งน้ำหนักเริ่มต้น 1 กรัม โดยปล่อยกุ้งตู้ละ 20 ตัว ส่วนการทดลองในกุ้งขาวแวนนาไมใช้กุ้งน้ำหนักเริ่มต้น 0.6 กรัม โดยปล่อยกุ้งตู้ละ 40 ตัว เลี้ยงกุ้งทั้งสองชนิดด้วยอาหารทดลองแต่สูตรๆ ละ 3 ตู้ อัตรา 6% ของน้ำหนักตัว/วัน โดยแบ่งให้วันละ 3 ครั้งๆ ละ 2% ส่วนการจัดการการเลี้ยง เช่น การเปลี่ยนถ่ายน้ำ การตรวจวัดคุณภาพน้ำและการเก็บข้อมูลดำเนินการเหมือนการทดลองในปลากะพงขาว การทดลองใช้ระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างกุ้งทั้งหมดในแต่ละตู้ ทำให้ตายโดยการแช่ในน้ำเย็นจัดก่อนทำให้แห้งด้วยวิธีฟรีซดราย (Freeze drying) และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ตามลำดับ

วิเคราะห์คุณค่าของอาหารทดลองและสัตว์ทดลองก่อนและหลังการทดลอง ดังนี้ วิเคราะห์โปรตีนด้วยเครื่อง Truspec CN Carbon/Nitrogen Determination (LECO) วิเคราะห์ไขมันด้วยเครื่อง Fat Extractor TFE 2000 (LECO) วิเคราะห์เถ้า ความชื้นและใยอาหาร ตามวิธีของ AOAC (2005) และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนด้วยเครื่อง Biochrom 30+ (Biochrom) โดยองค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนจำเป็นของอาหารปลากะพงขาว กุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม แสดงใน ตารางที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

การรวบรวมข้อมูล

-น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) = น้ำหนักรวม (กรัม)/จำนวน (ตัว)

-ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) = ความยาวรวม (เซนติเมตร)/จำนวน (ตัว)

-น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (กรัม/วัน) = (น้ำหนักสุดท้าย (กรัม) –น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม))/ระยะเวลาทดลอง (วัน)

-อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) = 100 x (ln (น้ำหนักสุดท้าย) – ln (น้ำหนักเริ่มต้น))/ระยะเวลาทดลอง (วัน)

-อัตรารอดตาย (%) = 100 x จำนวนที่เหลือ (ตัว)/จำนวนเริ่มต้น (ตัว)

-ปริมาณอาหารกินอาหาร (กรัม) = น้ำหนักอาหารกินรวม (กรัม)/จำนวน (ตัว)

-อัตราแลกเนื้อ = ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)/น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

-ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร = น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)/น้ำหนักโปรตีนที่กิน (กรัม)

-การสะสมโปรตีนในร่างกาย (%) = 100 x (ปริมาณโปรตีนในร่างกายสุดท้าย (กรัม) – ปริมาณโปรตีนในร่างกายเริ่มต้น (กรัม))/ปริมาณโปรตีนที่กิน (กรัม)

-ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม) = อัตราแลกเนื้อ x ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม) (Lozano *et al*., 2007)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป ทำการแปลงค่าอัตรารอดตายด้วยวิธี Arcsine transformation ก่อนวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

ตารางที่ 1 สูตรอาหารทดลองปลากะพงขาว (%)

	สูตร 1*	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ปลาป่นเศษทูน่า	35.00	10.00	10.00	10.00	10.00
ไก่ป่น	-	10.00	10.00	10.00	10.00
เปลือกกุ้งป่น	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
หมึกป่น	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
กากถั่วเหลือง	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
กากยีสต์	-	5.00	5.00	5.00	5.00
ไลซีนสังเคราะห์	-	-	0.40	0.50	0.60
เมไทโอนีนสังเคราะห์	-	-	0.20	0.25	0.30
แป้งสาลี	19.09	12.44	11.84	11.69	11.54
น้ำมันถั่วเหลือง	4.39	1.04	1.04	1.04	1.04
น้ำมันปลาทูน่า	-	3.00	3.00	3.00	3.00
วิตามินรวม**	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
แร่ธาตุรวม***	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
วิตามินซี 35% (Stay C)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
บีเอชที	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
แคลเซียมโปรปิโอเนต (80%)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
กากถั่วดาวอินคา	-	5.00	5.00	5.00	5.00
กากเมล็ดทานตะวัน	-	10.00	10.00	10.00	10.00
สาหร่ายผมนาง	-	1.00	1.00	1.00	1.00
สาหร่ายหนาม	-	1.00	1.00	1.00	1.00
ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ก.ก.)	41.10	37.56	37.80	37.86	37.93

*1 = สูตรควบคุม, 2 = สูตรไม่เสริมไลซีนและเมไทโอนีน, 3 = สูตรเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตราที่ทำให้มีปริมาณเท่ากับสูตรควบคุม (อัตราการเสริมปกติ), 4 และ 5 = สูตรเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตรา 1.25 และ 1.50 เท่าของอัตราการเสริมปกติ ตามลำดับ

** วิตามินรวม (กรัมต่อกิโลกรัมวิตามิน) : B_1 18, B_2 20, B_3 85, B_5 60, B_6 17, B_{12} 0.02, Folic acid 4.4, Inositol (98%) 150, Choline chloride (50%) 500, Biotin (2%) 0.2, A/D_3 1.18, E (50%) 30, K (50%) 4.2 (ดัดแปลงจาก FAO (1987))

***แร่ธาตุรวม (กรัมต่อกิโลกรัมแร่ธาตุ) : $NaH_2PO_4.2H_2O$ 600, $CaHPO_4$ 100, KCl 90, $MgSO_4.7H_2O$ 80, NaCl 40.44, $FeSO_4.7H_2O$ 20, $ZnSO_4.7H_2O$ 36, $CuSO_4.5H_2O$ 2, $MnSO_4.H_2O$ 18, NaF 1, $NaSeO_3$ 0.2, $CoSO_4$ 0.36, KI 2 (ดัดแปลงจาก FAO (1987) และ Boonyaratpalin *et al*. (1998)) ราคาเปลือกกุ้ง หมึกป่น กากถั่วเหลือง แป้งสาลีและน้ำมันปลาทูน่า เท่ากับ 28.96, 215, 13.97, 14.33 และ 72.50 บาท/กก. ตามลำดับ (Thai Feed Mill Association, 2019) ราคากากเมล็ดทานตะวัน สาหร่ายผมนาง ไก่ป่น กากยีสต์ ปลาป่นเศษทูน่า ไลซีน เมไทโอนีน วิตามิน แร่ธาตุ วิตามินซี 35% บีเอชที แคลเซียมโปรปิโอเนตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต เท่ากับ 8.89, 16.02, 15.62, 15.21, 33.96, 43.35, 80, 96, 64, 64, 112, 41.65 และ 11.21 บาท/กก. ตามลำดับ (Alibaba Company, 2019) ราคากากถั่วดาวอินคาเท่ากับ 20 บาท/กก. (ซื้อจากโรงงานจังหวัดลพบุรี) ราคาสาหร่ายหนามเท่ากับ16.02 บาท/กก. (ประมาณราคาเท่ากับราคาสาหร่ายผมนาง) และราคาน้ำมันถั่วเหลืองเท่ากับ 45 บาท/กก.

ตารางที่ 2 สูตรอาหารทดลองกุ้งกุลาดำ (%)

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ปลาป่นเศษทูน่า	25.00	10.00	10.00	10.00	10.00
ไก่ป่น	-	5.00	5.00	5.00	5.00
เปลือกกุ้งป่น	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
หมึกป่น	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
กากถั่วเหลือง	26.00	20.00	20.00	20.00	20.00
กากยีสต์	-	5.00	5.00	5.00	5.00
ไลซีนสังเคราะห์	-	-	0.60	0.75	0.90
เมไทโอนีนสังเคราะห์	-	-	0.26	0.32	0.38
หวีตกลูเต้น	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
แป้งสาลี	26.89	21.96	21.10	20.89	20.68
น้ำมันถั่วเหลือง	2.79	-	-	-	-
น้ำมันปลาทูน่า	-	1.72	1.72	1.72	1.72
วิตามินรวม*	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
แร่ธาตุรวม**	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
วิตามินซี 35% (Stay C)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
บีเอชที	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
เลซิติน (60%)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
แคลเซียมโปรปิโอเนต (80%)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
แอสต้าแซนทิน (10%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
คอเลสเตอรอล	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
กากถั่วดาวอินคา	-	5.00	5.00	5.00	5.00
กากเมล็ดทานตะวัน	-	10.00	10.00	10.00	10.00
สาหร่ายผมนาง	-	1.00	1.00	1.00	1.00
สาหร่ายหนาม	-	1.00	1.00	1.00	1.00
ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ก.ก.)	51.38	48.48	48.82	48.91	48.99

*วิตามินรวม (กรัมต่อกิโลกรัมวิตามิน) : B_1 46, B_2 40.32, B_3 73.4, B_5 50, B_6 60, B_{12} 0.01, Folic acid 3.36, Inositol (98%) 197, Choline chloride (50%) 450, Biotin (2%) 1, A/D_3 2.35, E (50%) 30 K (50%) 26.56 (ดัดแปลงจาก Conklin (1997))

**แร่ธาตุรวม (กรัมต่อกิโลกรัมแร่ธาตุ) : KH_2PO_4 100, $NaH_2PO_4.2H_2O$ 100, $CaHPO_4$ 150, KCl 54.28, $MgSO_4.7H_2O$ 283.98, $FeSO_4.7H_2O$, 40, $ZnSO_4.7H_2O$ 131.93, $CuSO_4.5H_2O$ 2.5, $MnSO_4.H_2O$ 6.5, $NaSeO_3$ 0.1, $CoCl.6H_2O$ $NaSeO_3$ 0.04, KI 0.67 (ดัดแปลงจาก Davis & Lawrence (1997) และแร่ธาตุรองดัดแปลงจาก Samocha *et al*. (2004)) ราคาหวีตกลูเต้น เท่ากับ 50 บาท (Thai Feed Mill Association, 2019) ราคาเลซิติน แอสต้าแซนทินและคอเลสเตอรอล เท่ากับ 33.63, 4,800 และ 3,800 บาท/กก. ตามลำดับ (Alibaba Company, 2019)

ตารางที่ 3 สูตรอาหารทดลองกุ้งขาวแวนนาไม (%)

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ปลาป่นเศษทูน่า	20.00	5.00	5.00	5.00	5.00
ไก่ป่น	-	5.00	5.00	5.00	5.00
เปลือกกุ้งป่น	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
หมึกป่น	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
กากถั่วเหลือง	26.00	20.00	20.00	20.00	20.00
กากยีสต์	-	5.00	5.00	5.00	5.00
ไลซีนสังเคราะห์	-	-	0.55	0.69	0.83
เมไทโอนีนสังเคราะห์	-	-	0.24	0.3	0.36
หวีตกลูเต้น	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
แป้งสาลี	31.41	26.38	25.59	25.39	25.19
น้ำมันถั่วเหลือง	2.77	-	-	-	-
น้ำมันปลาทูน่า	0.50	2.30	2.30	2.30	2.30
วิตามินรวม**	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
แร่ธาตุรวม***	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
วิตามินซี 35% (Stay C)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
บีเอชที	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
เลซิติน (60%)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
แคลเซียมโปรปิโอเนต (80%)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
แอสต้าแซนทิน 10%	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
คอเลสเตอรอล	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
กากถั่วดาวอินคา	-	5.00	5.00	5.00	5.00
กากเมล็ดทานตะวัน	-	10.00	10.00	10.00	10.00
สาหร่ายผมนาง	-	1.00	1.00	1.00	1.00
สาหร่ายหนาม	-	1.00	1.00	1.00	1.00
ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ก.ก.)	50.68	47.84	48.15	48.23	48.31

หมายเหตุ องค์ประกอบวิตามินรวมและแร่ธาตุรวมเหมือนที่ใช้ในอาหารกุ้งกุลาดำ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนจำเป็นของอาหารปลากะพงขาว (%)

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ความชื้น (Moisture)	6.03	6.06	5.77	6.13	6.25
โปรตีน (Protein)	44.25	44.79	44.71	44.59	44.77
ไขมัน (Lipid)	7.78	9.12	9.19	8.30	8.68
เถ้า (Ash)	13.09	13.54	13.62	13.66	13.62
ใยอาหาร (Fiber)	1.90	1.76	1.70	1.43	1.47
กรดอะมิโนจำเป็น (% ของโปรตีน)					
อาร์จินีน (Arginine, Arg)	6.10	4.96	4.81	4.93	4.87
อีสติดีน (Histidine, His)	2.33	2.10	2.06	1.95	2.01
ไอโซลิวซีน (Isoleucine, Ile)	4.56	4.18	4.05	3.88	4.00
ลิวซีน (Leucine, Leu)	7.50	6.79	6.60	6.53	6.46
ไลซีน (Lysine, Lys)	6.35	4.64	5.66	6.68	7.04
เมไทโอนีน (Methionine, Met)	3.23	2.05	3.11	3.43	3.73
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine, Phe)	6.08	5.02	5.08	5.29	5.16
ทรีโอนีน (Threonine, Thr)	4.27	3.48	3.60	3.23	3.55
วาลีน (Valine, Val)	5.22	4.47	4.20	4.17	4.42

หมายเหตุ เครื่อง Biochrom 30+ (Biochrom) ไม่สามารถวัดทริปโตฟาน (Tryptophan, Trp) ร่วมกับกรดอะมิโนจำเป็นทั้ง 9 ชนิดได้

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนจำเป็นของอาหารกุ้งกุลาดำ (%)

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ความชื้น (Moisture)	5.40	5.61	5.74	5.50	5.88
โปรตีน (Protein)	39.77	40.03	40.08	40.18	40.41
ไขมัน (Lipid)	8.15	7.86	8.15	8.02	7.96
เถ้า (Ash)	10.24	9.98	9.84	9.63	9.51
ใยอาหาร (Fiber)	1.81	1.86	1.96	1.96	1.66
กรดอะมิโนจำเป็น (% ของโปรตีน)					
อาร์จินีน (Arginine, Arg)	8.42	7.82	7.81	7.52	7.10
อีสติดีน (Histidine, His)	3.65	3.05	3.04	2.91	2.85
ไอโซลิวซีน (Isoleucine, Ile)	5.73	5.22	5.21	4.98	4.68
ลิวซีน (Leucine, Leu)	10.01	8.97	8.86	8.51	8.02
ไลซีน (Lysine, Lys)	7.22	6.27	6.99	7.34	7.70
เมไทโอนีน (Methionine, Met)	2.59	2.20	2.69	3.04	3.34
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine, Phe)	6.14	5.10	5.34	5.18	4.90
ทรีโอนีน (Threonine, Thr)	5.86	5.22	5.16	4.98	4.70
วาลีน (Valine, Val)	6.06	5.60	5.61	5.35	5.02

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโนจำเป็นของอาหารกุ้งขาวแวนนาไม (%)

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ความชื้น (Moisture)	6.72	6.44	6.94	6.59	6.74
โปรตีน (Protein)	36.08	36.32	36.72	36.41	36.80
ไขมัน (Lipid)	7.18	7.48	7.04	6.68	6.94
เถ้า (Ash)	9.53	9.07	8.89	8.93	8.94
ใยอาหาร (Fiber)	1.80	1.92	1.96	1.93	1.72
กรดอะมิโนจำเป็น (% ของโปรตีน)					
อาร์จินีน (Arginine, Arg)	7.10	7.96	8.20	8.43	7.99
อีสติดีน (Histidine, His)	3.08	2.42	2.51	2.33	2.45
ไอโซลิวซีน (Isoleucine, Ile)	5.35	3.58	3.27	3.54	3.18
ลิวซีน (Leucine, Leu)	9.42	6.10	6.29	6.35	6.09
ไลซีน (Lysine, Lys)	5.99	5.14	6.03	6.45	7.26
เมไทโอนีน (Methionine, Met)	2.47	2.12	2.23	2.61	2.99
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine, Phe)	8.73	8.18	8.25	7.91	7.5
ทรีโอนีน (Threonine, Thr)	5.93	5.20	5.17	5.74	5.46
วาลีน (Valine, Val)	6.24	5.26	5.34	5.71	5.43

ผลการวิจัย

การทดลองในปลากะพงขาว

การเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนค่าอาหารของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์ แสดงใน ตารางที่ 7 พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนในร่างกาย ไม่แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม ($p>0.05$) แต่ดีกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ขณะที่อัตรารอดตายและปริมาณอาหารที่กินของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 มีปริมาณโปรตีนในร่างกายมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมมีปริมาณไขมันในร่างกายมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ขณะที่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 มีปริมาณแร่ธาตุรวมในร่างกายมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) การศึกษานี้พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 และอาหารสูตรควบคุมมีต้นทุนค่าอาหารไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่าน้อยกว่าต้นทุนค่าอาหารของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ส่วนของคุณภาพน้ำในถังพักน้ำของระบบและในตู้เลี้ยงพบว่า อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรดด่าง ความเป็นด่าง แอมโมเนียรวมและไนไตรท์ มีค่าอยู่ในช่วง 27.5-30 °C, 25-28 ppt, 4.5-5.7 ppm, 7.3-8.1, 80-115 ppm, 0.52-1.76 ppm และ 0.055-0.871 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 7 การเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนค่าอาหารของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
น้ำหนักเริ่มต้น (ก.)	9.87±0.16^{a}	9.91±0.13^{a}	9.77±0.05^{a}	9.83±0.14^{a}	9.74±0.10^{a}
น้ำหนักสุดท้าย (ก.)	40.27±0.80^{a}	31.50±1.31^{c}	36.30±2.09^{b}	37.08±0.71^{b}	41.28±0.58^{a}
ความยาวเริ่มต้น (ซม.)	9.60±0.30^{a}	9.35±0.64^{a}	9.37±0.51^{a}	9.13±0.25^{a}	9.13±0.40^{a}
ความยาวสุดท้าย (ซม.)	11.73±0.11^{a}	10.90±0.14^{c}	11.20±0.17^{bc}	11.10± 0.10^{bc}	11.30±0.26^{b}
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/วัน)	0.54±0.01^{a}	0.38±0.02^{b}	0.48±0.04^{b}	0.48±0.01^{b}	0.57±0.01^{a}
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของน้ำหนัก (%/วัน)	2.51±0.03^{a}	2.06±0.10^{c}	2.34±0.10^{b}	2.37±0.03^{b}	2.58±0.04^{a}
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	46.30±4.21^{a}	50.91±3.42^{a}	57.17±5.68^{a}	53.37±4.91^{a}	51.61±2.17^{a}
อัตราแลกเนื้อ	1.52±0.10^{c}	2.36±0.05^{a}	2.15±0.12^{b}	1.95±0.14^{b}	1.64±.06^{c}
อัตรารอดตาย (%)	83.45±3.85^{a}	76.66±4.71^{a}	82.22±3.85^{a}	82.22±3.85^{a}	84.45±3.85^{a}
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	1.48±0.10^{a}	1.01±0.01^{b}	1.07±0.08^{b}	1.15±0.05^{b}	1.43±0.09^{a}
การสะสมโปรตีนในร่างกาย (%)	22.52±1.50^{a}	16.03±0.14^{c}	17.93±1.99^{bc}	19.39±0.78^{b}	24.34±1.60^{a}
โปรตีนในร่างกาย (%DM)	61.65±0.30^{d}	64.00±0.22^{c}	66.98±0.58^{b}	67.05±0.26^{b}	67.73±0.17^{a}
ไขมันในร่างกาย (%DM)	9.40±0.10^{a}	6.83±0.19^{b}	5.15±0.25^{c}	5.47±0.21^{c}	5.28±0.30^{c}
แร่ธาตุรวมในร่างกาย (%DM)	18.74±0.25^{d}	24.15±0.03^{a}	23.13±.07^{b}	23.14±0.27^{b}	22.06±0.23^{c}
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	62.51±4.24^{c}	88.64±2.66^{a}	81.41±4.42^{ab}	74.08±5.23^{b}	62.08±2.29^{c}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ปริมาณโปรตีน ไขมันและแร่ธาตุรวมในร่างกาย แสดงผลเป็น % ของน้ำหนักแห้ง (%Dry matter, %DM)

1 = สูตรควบคุม, 2 = สูตรไม่เสริมไลซีนและเมไทโอนีน, 3 = สูตรเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตราที่ทำให้มีปริมาณเท่ากับสูตรควบคุม (อัตราการเสริมปกติ), 4 และ 5 = สูตรเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตรา 1.25 และ 1.50 เท่าของอัตราการเสริมปกติ ตามลำดับ

การทดลองในกุ้งกุลาดำ

การเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนค่าอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์ แสดงใน ตารางที่ 8 พบว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตร มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ อัตรารอดตาย ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนในร่างกายไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 มีปริมาณโปรตีนในร่างกายมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 3, 4 และ 5 มีปริมาณไขมันในร่างกายมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 4 มีปริมาณแร่ธาตุรวมในร่างกายน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) การศึกษานี้พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีต้นทุนค่าอาหารไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนของคุณภาพน้ำในถังพักน้ำของระบบและในตู้เลี้ยงพบว่า อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรดด่าง ความเป็นด่าง แอมโมเนียรวมและไนไตรท์ มีค่าอยู่ในช่วง 27.0-31.3 °C, 27-31 ppt, 4.5-6.1 ppm, 7.4-8.2, 90-125 ppm, 0.80-2.15 ppm และ 0.125-0.904 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนค่าอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
น้ำหนักเริ่มต้น (ก.)	1.14±0.04[a]	1.18±0.08[a]	1.15±0.08[a]	1.15±0.04[a]	1.13±0.07[a]
น้ำหนักสุดท้าย (ก.)	6.56±0.31[a]	6.27±0.60[a]	6.73±0.74[a]	6.58±1.08[a]	6.17±0.23[a]
ความยาวเริ่มต้น (ซม)	5.97±0.45[a]	9.83± 0.47[a]	9.97±0.12[a]	5.87±0.12[a]	5.93±0.21[a]
ความยาวสุดท้าย (ซม)	7.30±0.17[a]	7.57±0.25[a]	7.50±0.17[a]	7.63±0.15[a]	7.63±0.15[a]
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/วัน)	0.10±0.01[a]	0.09±0.01[a]	0.10±0.01[a]	0.10±0.02[a]	0.09±0.01[a]
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของน้ำหนักเฉลี่ย (%/วัน)	3.12±0.14[a]	2.98±0.28[a]	3.15±0.28[a]	3.09±0.24[a]	3.03±0.16[a]
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	9.74±1.15[a]	8.56±0.79[a]	9.63±0.79[a]	8.57±1.55[a]	9.34±0.77[a]
อัตราแลกเนื้อ	1.79±0.10[a]	1.69±0.18[a]	1.74±0.11[a]	1.72±0.07[a]	1.75±.13[a]
อัตรารอดตาย (%)	65.00±10.00[a]	63.33±2.88[a]	61.67±7.64[a]	66.67±10.41[a]	66.67±7.64[a]
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	1.34±0.07[a]	1.42±0.15[a]	1.37±0.08[a]	1.50±0.09[a]	1.28±0.14[a]
การสะสมโปรตีนในร่างกาย (%)	23.50±1.43[a]	24.39±2.35[a]	23.60±1.27[a]	26.15±1.68[a]	22.75±1.56[a]
ปริมาณโปรตีนในร่างกาย (%DM)	69.39±0.19[b]	68.22±0.46[c]	68.24±0.41[c]	68.97±0.04[bc]	70.36±0.62[a]
ไขมันในร่างกาย (%DM)	6.23±0.21[b]	5.55±0.19[c]	7.46±0.14[a]	6.99±0.39[a]	6.83±0.22[ab]
ปริมาณแร่ธาตุรวมในร่างกาย (%DM)	15.30±0.13[a]	15.33±0.10[a]	15.20±0.22[a]	14.79±0.11[b]	15.51±0.20[a]
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	92.11±5.20[a]	82.00±8.72[a]	84.76±5.26[a]	84.26±3.48[a]	85.71±6.54[a]

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ปริมาณโปรตีน ไขมันและแร่ธาตุรวมร่างกาย แสดงผลเป็น % ของน้ำหนักแห้ง (%Dry matter, %DM)

การทดลองในกุ้งขาวแวนนาไม

การเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนค่าอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมกรดอะมิโนจำเป็นชนิดไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์ แสดงใน ตารางที่ 9 พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตร มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราแลกเนื้อ อัตรารอดตาย ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร การสะสมโปรตีนในร่างกายไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2, 4 และ 5 มีปริมาณโปรตีนในร่างกายมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 4 มีปริมาณไขมันในร่างกายมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 และ 4 มีปริมาณแร่ธาตุรวมในร่างกายมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) การศึกษานี้พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีต้นทุนค่าอาหารไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนของคุณภาพน้ำในถังพักน้ำของระบบและในตู้เลี้ยง เป็นค่าเดียวกันกับการทดลองในกุ้งกุลาดำ เนื่องจากใช้ระบบน้ำหมุนเวียนเดียวกันและทดลองพร้อมกัน

ตารางที่ 9 การเจริญเติบโต อัตรารอดตาย การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนค่าอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไลซีนและเมไทโอนีนสังเคราะห์

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
น้ำหนักเริ่มต้น (ก.)	0.59±0.01[a]	0.60±0.01[a]	0.59±0.01[a]	0.61±0.01[a]	0.61±0.01[a]
น้ำหนักสุดท้าย (ก.)	5.94±0.40[a]	6.17±0.51[a]	6.28±0.31[b]	6.23±0.23[b]	6.25±0.59[a]
ความยาวเริ่มต้น (ซม)	4.33±0.15[a]	4.60± 0.23[a]	4.67±0.23[a]	4.43±0.25[a]	4.43±0.21[a]
ความยาวสุดท้าย (ซม)	7.22±0.05[a]	7.34±0.22[a]	7.04±0.17[a]	7.07±0.29[a]	7.23±0.27[a]
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/วัน)	0.09±0.01[a]	0.10±0.01[a]	0.10±0.01[a]	0.10±0.00[a]	0.10±0.01[a]
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของน้ำหนักเฉลี่ย (%/วัน)	4.12±0.15[a]	4.17±0.17[a]	4.24±0.10[a]	4.16±0.03[a]	4.13±0.18[a]
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	7.77± 0.40[a]	7.77±1.05[a]	7.66± 0.71[a]	8.08± 0.71[a]	7.81± 0.69[a]
อัตราแลกเนื้อ	1.44± 0.10[a]	1.39±0.11[a]	1.34±0.08[a]	1.44±0.07[a]	1.39±0.02[a]
อัตรารอดตาย (%)	67.50±10.90[a]	61.67±8.04[a]	66.67±5.77[a]	66.83±13.77[a]	69.17±13.77[a]
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	1.83±0.06[a]	1.88±0.15[a]	1.93±0.12[a]	1.82±0.10[a]	1.86±0.03[a]
การสะสมโปรตีนในร่างกาย (%)	30.69±1.22[a]	32.20±2.67[a]	32.02±2.09[a]	30.99±188[a]	31.96±0.52[a]
ปริมาณโปรตีนในร่างกาย (%DM)	67.03±0.35[b]	68.13±0.29[a]	66.33±0.29[c]	67.95±0.52[a]	68.41±0.36[a]
ปริมาณไขมันในร่างกาย (%DM)	5.54±0.13[c]	6.02±0.15[b]	6.17±0.10[b]	7.12±0.31[a]	5.45±0.20[c]
ปริมาณแร่ธาตุรวมในร่างกาย (%DM)	13.01±0.03[b]	13.21±0.20[a]	12.24±0.00[d]	13.13±0.07[ab]	12.73±0.09[c]
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	73.00±4.92[a]	66.67±5.42[a]	64.67±3.90[a]	69.30±3.53[a]	67.00±1.21[a]

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนที่แตกต่างกันหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ปริมาณโปรตีน ไขมันและแร่ธาตุรวมในร่างกาย แสดงผลเป็น % ของน้ำหนักแห้ง (%Dry matter, %DM)

วิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบการเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอาหารปลากะพงขาว กุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม ระยะวัยรุ่นที่ใช้ปลาป่นในอัตราต่ำและใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกในอัตราสูง จำนวน 4 รูปแบบ คือ การไม่เสริม การเสริมในอัตราที่ทำให้กรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณเท่ากับที่พบในอาหารสูตรควบคุมหรือเรียกว่าอัตราการเสริมปกติ การเสริมในอัตรา 1.25 และ 1.50 เท่าของอัตราการเสริมปกติ ซึ่งกำหนดเป็นอาหารสูตร 2-5 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับอาหารสูตรควบคุมที่ใช้ปลาป่นในอัตราสูงและใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกในอัตราปานกลาง (สูตร 1) ซึ่งการศึกษาในปลากะพงขาวระยะวัยรุ่นพบว่าอาหารทุกสูตรมีโปรตีนอยู่ในช่วง 44.25-44.79% ซึ่งสูงกว่าความต้องการโปรตีนของปลากะพงขาวระยะวัยรุ่นที่มีค่าเท่ากับ 42.5% (Catacutan & Coloso, 1995) และสูงกว่าเกณฑ์โปรตีนขั้นต่ำของอาหารปลาทะเลกินเนื้อระยะวัยรุ่นขนาด 1-20 และ 20-50 กรัม ที่ต้องค่าไม่ต่ำกว่า 42 และ 40% ตามลำดับ (Department of Fisheries, 2019) ทั้งนี้อาหารทุกสูตรมีกรดอะมิโนจำเป็นเกือบทุกชนิดเพียงพอต่อความต้องการของปลากะพงขาว (Coloso *et al*., 1993; Millamena, 1994; Glencross, 2006) ยกเว้นอาหารสูตร 2 ที่มีไลซีนและเมไทโอนีนเท่ากับ 4.64 และ 2.05 % ของโปรตีนในอาหาร ตามลำดับ ซึ่งน้อยความต้องการที่มีค่าเท่ากับ 4.90 และ 2.2% ตามลำดับ และส่งผลให้ปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 เจริญเติบโตและสะสมโปรตีนในร่างกายต่ำกว่า และมีอัตราแลกเนื้อสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ เมื่อมีการเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอาหารสูตร 3 และ 4 พบว่าทำให้ปลาเจริญเติบโต สะสมโปรตีนในร่างกายและ

มีอัตราแลกเนื้อดีกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 อย่างไรก็ตาม ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 3 และ 4 เจริญเติบโตและสะสมโปรตีนในร่างกายต่ำกว่า และมีอัตราแลกเนื้อสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 และอาหารสูตรควบคุม

ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มแหล่งโปรตีนพืชที่ทำให้อาหารมีสารต้านโภชนาการเพิ่มขึ้น เช่น กรดไฟติก สารยับยั้งเอนไซม์ย่อยโปรตีนและซาโปนินจากการใช้กากเมล็ดทานตะวัน (Francis *et al*., 2001) และสารอัลกาลอยด์ เลกตินและซาโปนินจากการใช้กากถั่วดาวอินคา (Srichamnong *et al*., 2018) ซึ่งสารต้านโภชนาการเหล่านี้ได้ลดประสิทธิภาพการย่อยและใช้ประโยชน์สารอาหารโดยเฉพาะกรดไฟติกที่เกี่ยวข้องกับการย่อยและการใช้ประโยชน์กรดอะมิโนและแร่ธาตุ (Francis *et al*., 2001) มีรายงานว่าการแทนที่ปลาป่นด้วยกากคาโนล่าหมักยีสต์ทำให้กรดไฟติกในอาหารปลากะพงขาวเพิ่มขึ้นและส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน ไขมันและแร่ธาตุ และมีผลสืบเนื่องให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตลดลงและมีอัตราแลกเนื้อสูงขึ้น (Plaipetch & Yakupitiyage, 2012) นอกจากนี้ อาหารทดลองยังมีสารกลูแคนจากการใช้กากยีสต์ (Yamada & Sgarbieri, 2005) และคาราจีแนนรวมทั้งอะกาแรนจากการใช้สาหร่ายผมนางและสาหร่ายหนาม เมื่อสารเหล่านี้สัมผัสกับกรดในทางเดินอาหารบางส่วนแตกตัวเป็นสารโอลิโกแซกกาไรด์ (Johansson *et al*., 2006; Cheong *et al*., 2018)ที่สามารถลดประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้เช่นกัน มีรายงานว่าโอลิโกแซกกาไรด์ในถั่วเหลืองทำให้ทางเดินอาหารของปลาแอตแลนติก แซลมอนและปลาเรนโบว์ เทร้าต์ มีความหนืดมากขึ้นและลดประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (Refstei *et al*., 1999; Glencross *et al*., 2003)

การศึกษาในกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่นพบว่าอาหารทดลองทุกสูตรมีกรดอะมิโนจำเป็นเกือบทุกชนิดเพียงพอต่อความต้องการ ยกเว้นสูตร 2 ที่มีเมไทโอนีนเท่ากับ 2.20% ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งกุลาดำ ที่มีรายงานว่ามีค่าเท่ากับ 2.59% ของโปรตีนในอาหารที่มีโปรตีนเท่ากับ 40% (Millamena *et al*., 1996a; 1996b; 1997; 1998; 1999) แต่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรเจริญเติบโต สะสมโปรตีนในร่างกาย และมีอัตราแลกเนื้อและต้นทุนค่าอาหารที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าเมไทโอนีนที่กุ้งกุลาดำได้รับในแต่ละวันจากอาหารแต่ละสูตรยังคงเพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจากโปรตีนในอาหารทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 39.77-40.41% ซึ่งสูงกว่าความต้องการโปรตีนของกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่น ที่มีรายงานว่ามีค่าเท่ากับ 36% (Shiau & Chou, 1991) และมีค่ามากกว่าเกณฑ์โปรตีนขั้นต่ำของอาหารกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่นขนาด 1-3 และ 3-12 กรัม ที่ต้องค่าไม่ต่ำกว่า 42 และ 40% 38 และ 36% ตามลำดับ (Department of Fisheries, 2019) ส่วนการศึกษาในกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นพบว่าผลการทดลองเหมือนกุ้งกุลาดำ ทั้งนี้อาหารทดลองทุกสูตรมีกรดอะมิโนจำเป็นเกือบทุกชนิดเพียงพอต่อความต้องการ ยกเว้นอาหารสูตร 2 ที่มีไลซีนเท่ากับ 5.14% ของโปรตีนในอาหาร ซึ่งน้อยกว่าความต้องการของกุ้งขาวแวนนาไมที่มีมีค่าเท่ากับ 5.96% ของโปรตีนในอาหารที่มีโปรตีน 36% (Kai *et al*., 2003; Jin *et al*., 2017) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าไลซีนที่กุ้งขาวแวนนาไมได้รับในแต่ละวันจากอาหารแต่ละสูตรยังคงเพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจากโปรตีนในอาหารทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 36.08-36.80% ซึ่งสูงกว่าความต้องการโปรตีนของกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่น ที่มีรายงานว่ามีค่าเท่ากับ 34.5% (Lee & Lee, 2018) และมีค่ามากกว่าเกณฑ์โปรตีนขั้นต่ำของอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นขนาด 1-3 และ 3-12 กรัม คือ 34 และ 32% ตามลำดับ (Department of Fisheries, 2019)

สรุปผลการวิจัย

การใช้ปลาป่น 10% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 71% ในสูตรอาหารปลากะพงขาวระยะวัยรุ่น (10-40 กรัม) แม้ว่าอาหารมีโปรตีนสูงกว่าความต้องการประมาณ 2% แต่มีไลซีนและเมไทโอนีนน้อยกว่าความต้องการ และน้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมที่ใช้ปัน 35% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 39% ส่งผลให้ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารนี้เจริญเติบโตด้อยกว่า มีอัตราแลกเนื้อและต้นทุนค่าอาหารสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม การเสริมไลซีนและเมไทโอนีนในอัตรา 1.50

เท่าของอัตราการเสริมที่ทำให้กรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้มีเท่ากับปริมาณที่พบในอาหารสูตรควบคุมหรือเรียกว่าอัตราการเสริมปกติ เป็นวิธีการที่ให้ผลดีเทียบเท่าอาหารสูตรควบคุมและดีกว่าอัตราการเสริมอื่นๆ ขณะที่การใช้ปลาป่นในอัตรา 10% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 61% ในสูตรอาหารกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่น (1-6 กรัม) ทำให้อาหารมีโปรตีนสูงกว่าความต้องการ 4% มีเมไทโอนีนน้อยกว่าความต้องการ และน้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมที่ใช้ปลาป่น 25% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 40% แต่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารนี้เจริญเติบโต มีอัตราแลกเนื้อและต้นทุนค่าอาหารไม่แตกต่างจากกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม ส่วนการใช้ปลาป่นในอัตรา 10% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 61% ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่น (0.6-6 กรัม) ทำให้อาหารมีโปรตีนสูงกว่าความต้องการ 4% มีไลซีนน้อยกว่าความต้องการ และน้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมที่ใช้ปลาป่น 20% และแหล่งโปรตีนทางเลือก 40% แต่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารนี้เจริญเติบโต มีอัตราแลกเนื้อและต้นทุนค่าอาหารไม่แตกต่างจากกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

Alibaba Company. (2019). *Products* (*Agriculture, Feed*). Retrieved May 10, 2019, from http://www.alibaba.com/catalog/feed_cid100002650?spm=a2700.9161164.1.8.46f54e02jT754V

AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Araújo-Dairiki, T.B., Chaves, F.C.M. & Dairiki, J.K. (2018). Seeds of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae) as a feed ingredient for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, and matrinxã, *Brycon amazonicus* (Characidae). *Acta Amazonica*, *48*(1), 32-37.

Boonyaratpalin, M., Suraneiranat, P. & Tunpibal, T. (1998). Replacement *of fishmeal with* various types of soybean products in the diets for the *Asian seabass*, *Lates calcarifer. Aquaculture*, *161*(104), 67-78.

Briggs, M.R.P. & Funge-Smith, S.J. (2008). The potential use of *Gracilaria* sp. meal in diets for juvenile *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture Research*, *27*(5), 345-354.

Catacutan, M.R. & Coloso, R.M. (1995). Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian sea bass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, *131*(12), 125-133.

Cheong, K.L., Qiu, H.M., Du, H., Yang, L. & Khan, B.M. (2018). Oligosaccharides derived from red seaweed: Production, properties, and potential health and cosmetic applications. *Molecules*, *23*(10), 1-18.

Coloso, R.M., Murillo, D.P., Borlongan, I.G. & Catacutan, M.R. (1993). Requirement of juvenile seabass *Lates calcarifer* Bloch for tryptophan. In *The VI International Symposium on Fish Nutrition and Feeding*. Australia: Hobart.

Conklin, D.E. (1997). Vitamins. In L.R. D'Abramo, D.E. Conklin & D.M. Akiyama. (Eds.), *Crustacean Nutrition (Advances in World Aquaculture)*. (pp. 123-149). Louisiana, USA: World Aquaculture Society.

Davis, D.A. & Lawrence, A.L. (1997). Minerals. In L.R. D'Abramo, D.E. Conklin & D.M. Akiyama. (Eds.), *Crustacean Nutrition (Advances in World Aquaculture)*. (pp. 150-163). Louisiana, USA: World Aquaculture Society.

Dayal, J.S., Rajaram, V., Ambasankar, K. & Ali, S.A. (2011). Sunflower oil cake as a replacement for fish meal in feeds of Tiger Shrimp, *Penaeus monodon* reared in tanks and in net cages. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, *40*(3), 460-470.

Department of Fisheries. (2019). *Standard Criteria for Aquatic Animal Feeds Registered with Department of Fisheries, Thailand*. Retrieved May 10, 2019, from http://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_qr_group/82/124 (in Thai)

Duangsawasdi, M. & Somsiri, J. (1985). *Water Quality and Analysis Method for Fisheries Research*. Bangkok: National Inland Fisheries Institute, Department of Fisheries. (in Thai)

FAO. (1987). *The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp - a Training Manual*. Rome, Italy: Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization.

Francis, G., Makkar, H.P.S. & Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, *199*(3-4), 197-227.

Glencross, B. (2003). *Pilot Assessment of the Potential for Canola Meal and Oil Use in Aquaculture Feeds*. Western Australia, Australia: Department of Fisheries.

Glencross, B., Thierry, B. & Kaushik, S.J. (2003). Influence of oligosaccharides on the digestibility of lupin meals when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, *219*(1-4), 703-713.

Glencross, B. (2006). The nutritional management of barramundi, *Lates calcarifer*-a review. *Aquaculture Nutrition*, *12*(4), 291-309.

Guo, J., Qiu, X., Salze, G. & Davis, D.A. (2019). Use of high-protein brewer's yeast products in practical diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei. Aquaculture Nutrition, 25*(3), 680-690.

Jin, Y., Liu, F.J., Liu, Y.J., Tian, L.X. & Zhang, Z.H. (2017). Dietary tryptophan requirements of juvenile pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone) reared in low-salinity water. *Aquaculture International, 25*(2), 955-968.

Johansson, L., Virkki, L., Anttila, H., Esselström, H., Tuomainen, P. & Sontag-Strohm, T. (2006). Hydrolysis of ß-glucan. *Food Chemistry, 97*(1), 71-79.

Kai, H., Wu, W. & Chunhua, L. (2003). Requirement of essential amino acids for *Penaeus vannamei*. *Shiuchan Xuebao*, *27*(5), 456-461. (in Chinese)

Lee, C. & Lee, K.J. (2018). Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages. *Fisheries and Aquatic Sciences, 21*, 30-35.

Lozano, N.B.S., Vidal, A.T., Martínez-Llorens, S., Mérida, S.N., Blanco, J.E., López, A.M., Torres, M.P. & Cerdá, M.J. (2007). Growth and economic profit of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed sunflower meal. *Aquaculture*, *272*(1-4), 528-534.

Millamena, O.M. (1994). Review of SEAFDEC/AQD fish nutrition and feed development research. In *Proceedings of the National Seminar-Workshop on Fish Nutrition and Feeds*. (pp. 52-63). Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, SEAFDEC.

Millamena, O.M., Teruel, M.N.B. & Kanazawa, A. (1996a). Methionine requirement of juvenile tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture*, *143*(3-4), 403-410.

Millamena, O.M., Teruel, M.N.B. & Kanazawa, A. (1996b). Valine requirement of postlarval tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture Nutrition*, *2*(3), 129-132.

Millamena, O.M., Teruel, M.N.B., Reyes, O.S. & Kanazawa, A. (1997). Threonine requirement of juvenile marine shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, *151*(1-4), 9-14.

Millamena, O.M., Teruel, M.N.B., Reyes, O.S. & Kanazawa, A. (1998). Requirements of juvenile marine shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius) for lysine and arginine. *Aquaculture*, *164*(1-4), 95-104.

Millamena, O.M., Teruel, M.N.B., Kanazawa, A. & Teshima, S. (1999). Quantitative dietary requirements of postlarval tiger shrimp, *Penaeus monodon*, for histidine, isoleucine, leucine, phenylalanine and tryptophan. *Aquaculture*, *179*(1-4), 169-179.

Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. & Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature, 405*, 1017-1024.

NRC. (1993). *Nutrient Requirements of Fish*. Washington DC, USA: National Academy Press.

Oliva-Teles, A. & Goncalves, P. (2001). Partial replacement of fishmeal by brewers yeast in diets for sea bass *Dicentrarchus labrax* juveniles. *Aquaculture*, *202*(3-4), 269-278.

Plaipetch, P. & Yakupitiyage, A. (2012). Use of yeast-fermented canola meal to replace fishmeal in the diet of Asian sea bass *Lates calcarifer* (Bloch, 1790). *Journal of Aquaculture Research & Development*, *3*(125), 1-5.

Rajesh, G. (2014). *Evaluation of Sunflower Meal and Mysid Meal as Replacements for Fishmeal in Litopenaeus vannamei Diets*. Andhra Pradesh, India: Sri Venkateswara Veterinary University.

Refstie, S., Svihus, B., Shearer, K.D. & Storebakken, T. (1999). Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soybean products. *Animal Feed Science and Technology*, *79*(4), 331-345.

Rodríguez-González, H., Orduña-Rojas, J., Villalobos-Medina, J.P., García-Ulloa, M., Polanco-Torres, A., López-Álvarez, E.S., Montoya-Mejía, M. & Hernández-Llamas, A. (2014). Partial inclusion of *Ulva lactuca* and *Gracilaria parvispora* meal in balanced diets for white leg shrimp *(Litopenaeus vannamei*). *Journal of Applied Phycology*, *26*(6), 2453-2459.

Samocha, T.M., Davis, D.A., Saoud, I.P. & Debault, K. (2004). Substitution of fish meal by co-extruded soybean and poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, *231*(1-4), 197-203.

Shiau, S.Y. & Chou, B.S. (1991). Effects of dietary protein and energy on growth performance of tiger shrimp *Penaeus monodon* reared in seawater. *Nihon-suisan-gakkai-shi*, *57*(12), 2271-2276.

Srichamnong, W., Ting, P., Pitchakarn, P., Nuchuchua, O. & Temviriyanukul, P. (2018). Safety assessment of *Plukenetia volubilis* (Inca peanut) seeds, leaves, and their products. *Food Science & Nutrition*, *6*(4), 962-969.

Tacon, A.G.J, Webster, J.L. & Martinez, C..A. (1984). Use of solvent extracted sunflower seed meal in complete diets for fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson), *Aquaculture*, *43*(4), 381-389.

Tacon, A.G.J. & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fishmeal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture*, *285*(1-4), 146-158.

Thai Feed Mill Association. 2019. *Monthly Raw Material Price*. Retrieved May 10, 2019, from http://www.thaifeedmill.com/Price/tabid/78/Default.aspx (in Thai)

Valente, L.M.P., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E.F. & Pinto, I.S. (2006). Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, *252*(1), 85-91.

Yamada, E. & Sgarbieri, A.V.C. (2005). Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) protein concentrate: preparation, chemical composition, and nutritional and functional properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*(10), 3931-3936.