ISSN 3027-6357 (Print)
ISSN 3027-6365 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : *http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj*
ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน 2567) หน้า [27-41]

# การใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่น และส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลือง ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่น

# Using a Mixture of Corn Gluten Meal and Meat and Bone Meal to Replace Dietary Fishmeal and a Mixture of Corn Gluten Meal and DDGS to Replace Soybean Meal for Juvenile White Shrimp

พิเชต พลายเพชร[1,*], วีระวรรณ จาดพันธุ์อินทร์[2]

*[1]ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำชลบุรี กรมประมง ชลบุรี 20110*

*[2]กลุ่มวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดและพัฒนาธุรกิจ กรมประมง ชลบุรี 20110*

Pichet Plaipetch[1,*], Weerawan Jadphan-In[2]

*[1]Chonburi Aquatic Animal Feed Research and Development Center, Department of Fisheries, Chon Buri 20110*

*[2]Business Development and Inland Aquaculture Research and Development Group, Department of Fisheries, Chon Buri 20110*

Received 23 October 2023; Received in revised 15 December 2023; Accepted 16 January 2024

**บทคัดย่อ**

ศึกษาการใช้โปรตีนทางเลือกในอาหารกุ้งขาวแวนนาไมโปรตีน 38% และไขมัน 7% โดยอาหารสูตร 1 มีปลาป่น 12% และกากถั่วเหลือง 28% (สูตรควบคุม) สูตร 2 และ 3 ทดแทนปลาป่นด้วยคอร์นกลูเต้นร่วมกับเนื้อและกระดูกป่นที่ระดับ 50 และ 100% สูตร 4-6 ทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยคอร์นกลูเต้นร่วมกับดีดีจีเอสที่ระดับ 50, 100 และ 100% ที่เสริมเอนไซม์ไฟเตสอัตรา 1,000 FTU ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมขนาดเริ่มต้นประมาณ 0.55 กรัม ด้วยอาหารทดลองสูตรละ 3 ซ้ำ โดยให้อาหาร 4-10 % ของน้ำหนักตัว เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ การทดแทนปลาป่นพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 2 เจริญเติบโต มีอัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนในตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 ($p<0.05$) การทดแทนกากถั่วเหลืองพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 4 เจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ดีกว่ากุ้ง

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** pichet28@yahoo.com

**doi:** 10.14456/tstj.2024.11

Science32-N2.indd 27 25/4/2567 BE 09:15

ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ($p<0.05$) และกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 มีอัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนในตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังนั้นสรุปได้ว่าสามารถใช้คอร์นกลูเต้นร่วมกับเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 50% และคอร์น กลูเต้นร่วมกับดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างน้อย 50% สำหรับอาหารกุ้งขาวแวนนาไมโปรตีน 38% ไขมัน 7% ที่มีปลาป่น 12% และกากถั่วเหลือง 28% โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหาร

**คำสำคัญ:** คอร์นกลูเต้น; เนื้อและกระดูกป่น; ปลาป่น; ดีดีจีเอส; กากถั่วเหลือง

## Abstract

Using alternative protein sources in a 38%P and 7%L white shrimp diet was determined. Test diets consisted of diet 1 containing 12% fishmeal and 28% soybean meal (control). Diets 2 and 3 replaced fishmeal protein with corn gluten integrated with meat and bone meal at levels of 50 and 100%, respectively. Diets 4-6 replaced soybean meal protein with corn gluten integrated with DDGS at levels of 50, 100 and 100% supplemented with phytase 1,000 FTU/Kg, respectively. Three groups of shrimp, each weighting 0.55 g, were fed each diet at 4-10% of body weight per day for 8 weeks. Replacing fishmeal showed that the growth, feed conversion ratio, protein efficiency ratio and protein retention of shrimp fed diets 1 and 2 were not significantly different ($p>0.05$) but were better than shrimp fed diet 3 ($p<0.05$). Replacing soybean meal showed that the growths of shrimp fed diet 1 and 4 were not significantly different ($p>0.05$) but better than shrimp fed diet 5 and 6 ($p<0.05$). The feed conversion ratio, protein efficiency ratio, and protein retention of shrimp fed diet 1, 4, 5 and 6 were not significantly different ($p>0.05$). In conclusion, corn gluten integrated with meat and bone meal could replace fishmeal up to 50% and corn gluten integrated with DDGS could replace soybean meal by at least 50% for a 38%P and 7%L white shrimp diet contained 12% fishmeal and 28% soybean meal without impacting growth and feed utilization.

**Keywords:** Corn gluten meal; Meat and bone meal; Fishmeal; DDGS; Soybean meal



Science32-N2.indd 28 25/4/2567 BE 09:15

## 1. บทนำ

ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่นิยมใช้ในการผลิตอาหารกุ้งทะเลเนื่องจากมีโปรตีนสูง มีความสมดุลของกรดอะมิโนจำเป็น ย่อยง่ายและเป็นสารดึงดูดการกิน [1] ในอดีตโรงงานผลิตอาหารกุ้งทะเลใช้ปลาป่นในสูตรอาหารกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไมประมาณ 25 และ 20% ตามลำดับ [2] อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันราคาจำหน่ายกุ้งทะเลที่ตกต่ำลงทำให้โรงงานผลิตอาหารกุ้งทะเลจำเป็นต้องลดปริมาณปลาป่นในสูตรอาหารลง และใช้แหล่งโปรตีนทดแทนเพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถจำหน่ายอาหารในราคาเดิมหรือขึ้นราคาอาหารให้น้อยที่สุด ทั้งนี้แหล่งโปรตีนทดแทนที่นิยมมากที่สุดคือกากถั่วเหลือง เนื่องจากเป็นโปรตีนพืชที่มีผลผลิตเป็นอันดับ 1 ของโลก มีโปรตีนสูงและมีกรดอะมิโนจำเป็นดีกว่าโปรตีนพืชชนิดอื่น ๆ [3] อย่างไรก็ตาม กากถั่วเหลืองมีสารยับยั้งโภชนาการ (Anti-nutritional factors, ANFs) เช่น กรดไฟติก ซาโปนิน โอลิโกแซกกาไรด์และ ทริปซินอินฮิบิเตอร์ [4-6] ที่ลดประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร รวมทั้งโปรตีนประมาณ 30-40% ประกอบด้วย Glycinin และ ß-conglycinin [7] ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Allergic protein) และงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าทำให้ลำไส้ของสุกรผิดปกติ [8-9]

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการลดปลาป่นและเพิ่มกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารทำให้กุ้งขาวแวนนาไมเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อด้อยลงเนื่องจากมีผลกระทบต่อเอนไซม์ย่อยโปรตีน [10] และยังส่งผลต่อสุขภาพของกุ้งด้วย เช่น ทำให้ปริมาณเม็ดเลือดชนิดต่างๆ กิจกรรมเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในน้ำเลือด กิจกรรมเอนไซม์ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตสในตับของกุ้งขาวแวนนาไมลดลงและสารที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมันในตับมีมากขึ้น [11] ดังนั้น จากข้อจำกัดของกากถั่วเหลืองดังที่กล่าวมาข้างต้นทำให้มีความพยายามในการปรับปรุงคุณภาพของกากถั่วเหลือง เช่น การผลิตกากถั่วเหลืองหมัก (Fermented soybean meal, FSBM) โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสต (Soy protein hydrolysate, SPH) โปรตีนถั่วเหลืองคอนเซนเทรต (Soy Protein Concentrate, SPC) และโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต (Soy Protein Isolate, SPI) แต่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีราคาแพงกว่าปลาป่นและให้ผลไม่แตกต่างจากกากถั่วเหลืองปกติ เช่น การทดลองใช้ SPC ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมอัตรา 6-20% พบว่าการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อไม่แตกต่างจากอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองปกติ [12] ขณะที่การทดแทนโปรตีนปลาป่นอัตรา 20 และ 40% ด้วยกากถั่วเหลืองปกติและ FSBM ที่หมักด้วย *Bacillus subtilis* พบว่าการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพอาหารก็ไม่แตกต่างกัน [13]

นอกจากการปรับคุณภาพของกากถั่วเหลืองแล้ว มีความพยายามในการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยแหล่งโปรตีนทางเลือกอื่น ๆ และพบว่าได้ผลดี เช่น สามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลืองได้ถึง 87% ในสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่น 20% และกากถั่วเหลือง 36% โดยไม่กระทบการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อ [14] หรือบริวเวอร์ยีสต์ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ 50% สำหรับสูตรอาหารที่มีปลาป่นประมาณ 5% และกากถั่วเหลืองประมาณ 54% [15] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาจไม่จำเป็นต้องใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีราคาแพงกว่าปลาป่นทดแทนกากถั่วเหลืองปกติ โดยงานวิจัยนี้สนใจแหล่งโปรตีนทางเลือก 2 ชนิด คือ คอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอส เนื่องจากมีปริมาณเพียงพอสำหรับการผลิตอาหารกุ้งทะเลเชิงพาณิชย์และยังเป็นแหล่งสารสีที่มีประโยชน์สำหรับกุ้งทะเล อย่างไรก็ตาม การใช้แหล่งโปรตีนเพียงชนิดเดียวอาจได้ผลไม่ดีเพราะข้อจำกัดเรื่องสารอาหารและสารต้านโภชนาการ เช่น มีโปรตีนต่ำกว่าหรือมีกากอาหารมากกว่ากากถั่วเหลือง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้ส่วนผสมของส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่นเพื่อลดปริมาณกากถั่วเหลืองให้ได้มากที่สุด รวมทั้งศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ได้มากยิ่งขึ้น



Science32-N2.indd 29 25/4/2567 BE 09:15

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การแผนการทดลอง

วางการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) มี 6 ชุดการทดลอง ทำ 3 ซ้ำ เพื่อทดสอบการทดแทนโปรตีนปลาป่นและโปรตีนกากถั่วเหลืองด้วยแหล่งโปรตีนทางเลือก โดยอาหารมีโปรตีน 38% ประกอบด้วยโปรตีนจากปลาป่นเท่ากับ 7.2% และโปรตีนจากกากถั่วเหลืองเท่ากับ 12.6% ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารที่ใช้ปลาป่น 12% และกากถั่วเหลือง 28% (สูตรควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนโปรตีนปลาป่น 50%

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนโปรตีนปลาป่น 100%

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลือง 50%

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลือง 100%

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลือง 100 % และเสริมเอนไซม์ ไฟเตส 1,000 FTU ต่อกิโลกรัม

### 2.2 การผลิตอาหารทดลอง

ผลิตอาหารทดลองตามสูตรที่แสดงใน Table 1 โดยผลิตอาหารแต่ละสูตรที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 และ 2 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 0.3-0.5 มิลลิเมตร ขนาดละ 2 กิโลกรัม มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ ชั่งวัตถุดิบของอาหารสูตรละ 4 กิโลกรัม โดยเติมวัตถุดิบอาหารที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ วิตามินซี บีเอชที แคลเซียมโปรปิโอเนต วิตามินและแร่ธาตุรวม ลงใน Hobart mixer และผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที ก่อนเติมวัตถุดิบอื่นๆ และผสมต่ออีก 10 นาที เติมน้ำมันและเลซิติน ผสมต่ออีก 5 นาที จากนั้นเติมน้ำ 30 % และผสมต่ออีก 15 นาที จากนั้นแบ่งอาหารแต่ละสูตรออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน ก่อนทำการอัดเม็ดอาหารทั้ง 2 ขนาด ด้วยเครื่องบดเนื้อขนาดเล็ก จากนั้นนำอาหารไปอบในตู้นึ่งไอน้ำโดยใช้อุณหภูมิ 90-95 °C นาน 5 นาที เพื่อให้แป้งสุก และนำอาหารไปตู้อบแห้งใช้อุณหภูมิ 60 °C จนแห้ง ก่อนทำการร่อนอาหารด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดเศษอาหารและฝุ่น บรรจุอาหารลงถุงและเก็บรักษาอาหารทดลองในตู้เย็น (4-10 °C) จนกระทั่งถึงการทดลอง นอกจากนี้ ทำการเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละสูตร ๆ ละ 300 กรัม บรรจุในถุงและเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง (-20 °C) ก่อนนำวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร ได้แก่ วิเคราะห์โปรตีนด้วยเครื่อง Truspec CN Carbon/Nitrogen Determination (LECO) วิเคราะห์ไขมันด้วยเครื่อง Fat Extractor TFE 2000 (LECO) และวิเคราะห์เถ้า ความชื้นและใยอาหารตามวิธีมาตรฐานของ AOAC [16] วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนด้วยเครื่อง Biochrom 30+ (Biochrom) นอกจากนี้ ทำการทดสอบความคงตัวของอาหารในน้ำความเค็ม 0, 5, 15 และ 30 ppt ตามวิธีของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [17] พร้อมทั้งคำนวณการสูญเสียโปรตีนในอาหาร โดยคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองแสดงใน Table 2

### 2.3 สัตว์ทดลองและระบบทดลอง

กุ้งทดลองเป็นลูกกุ้งขาวแวนนาไมสายพันธุ์ทนโรคระยะ PL30 จากโรงเพาะฟักเอกชนในจังหวัดชลบุรี ซึ่งอนุบาลในน้ำความเค็ม 25 ppt ผ่านการฝึกให้กินอาหารสำเร็จรูปทางการค้า จำนวน 3,000 ตัว และมีการปรับความเค็มน้ำเท่ากับ 30 ppt ก่อนมาเลี้ยงในบ่อคอนกรีตโดยใช้น้ำความเค็ม 30 ppt ให้อาหารสำเร็จรูปกุ้งทะเลที่มีโปรตีนประมาณ 38% วันละ 10% ของน้ำหนักตัว แบ่งให้ 4 ครั้ง เวลา 06.00, 10.00, 14.00 และ 18.00 น เป็นระยะเวลา 5 วัน ก่อนทำการคัดขนาดกุ้งจำนวน 1,500 ตัว สำหรับใช้ในการทดลองจำนวน 900 ตัว โดยแบ่งใส่ตู้ทดลองความจุน้ำ 80 ลิตร จำนวน 18 ตู้ ๆ ละ 50 ตัว โดยตู้ทดลองทุกตู้มีการต่อเข้ากับระบบน้ำหมุนเวียนที่ประกอบด้วยถังตกตะกอนจำนวน 2 ถัง



Science32-N2.indd 30 25/4/2567 BE 09:15

**Table 1** Ingredient composition of test diets (%)

| Parameter | Replacing fishmeal | | | Replacing soybean meal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Control (1) | CG+MBM 50% (2) | CG+MBM 100% (3) | CG+DDGS 50% (4) | CG+DDGS 100% (5) | CG+DDGS 100%+Phytase (6) |
| Fishmeal (60%P, 76B/kg) | 12.00 | 6.00 | - | 12.00 | 12.00 | 12.00 |
| Poultry byproduct meal (56B/kg) | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
| Squid liver meal (62B/kg) | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Wheat gluten (167B/kg) | 5.10 | 5.10 | 5.10 | 5.10 | 5.10 | 5.10 |
| Baker's yeast (355B/Kg) | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Soybean meal (45%P,32B/kg) | 28.00 | 28.00 | 28.00 | 14.00 | - | - |
| CG(60%P)/MBM(55%P) (1:1) (43.50B/kg) | - | 6.10 | 12.20 | - | - | - |
| CG(60%P)/DDGS(30%P) (1:1) (40B/kg) | - | - | - | 14.35 | 28.70 | 28.60 |
| L-Lysine (98.5%, 136B/kg) | - | - | 0.20 | 0.20 | 0.50 | 0.50 |
| DL-Methionine (98.5%, 172B/kg) | - | 0.10 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.30 |
| L-Arginine (98.5%, 200B/kg) | - | - | - | - | 0.45 | 0.45 |
| Wheat flour (38B/kg) | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| Broken rice (18B/kg) | 6.58 | 5.18 | 3.58 | 5.63 | 4.33 | 4.31 |
| Rice bran (15B/kg) | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| Tuna oil (140B/kg) | 1.00 | 1.30 | 1.60 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Vitamin premix* (750B/kg) | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| Mineral premix** (500B/kg) | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| Mono calcium phosphate (40B/kg) | - | 0.90 | 1.80 | 0.20 | 0.40 | 0.40 |
| Vitamin C (35%, 1,000B/kg) | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| BHT (400B/kg) | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Soy lecithin (60%, 120B/kg) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Calcium propionate (80%, 240B/kg) | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Phytase 1,000 FTU (700B/kg) | - | - | - | - | - | 0.02 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Ingredient cost (Baht/kg) | 73.35 | 72.14 | 71.17 | 75.14 | 77.55 | 77.82 |

**Remark** *Vitamin (g/Kg): $B_1$ 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 (modified from [19])

**Mineral (g/Kg) : $KH_2PO_4$ 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, $CoCl.6H_2O$, KI 0.67 (modified from [20-21])

CG = Corn Gluten (50B/Kg); MBM = Meat and Bone Meal (37B/Kg), DDGS (30B/Kg), Prices based on real retail price



Science32-N2.indd 31 25/4/2567 BE 09:15

**Table 2** Proximate composition (%) and dietary essential amino acids (% of P) of test diets

| Parameter | Replacing fishmeal | | | Replacing soybean meal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Control (1) | CG+MBM 50% (2) | CG+MBM 100% (3) | CG+DDGS 50% (4) | CG+DDGS 100% (5) | CG+DDGS 100%+Phytase (6) |
| Moisture | 8.28 | 9.06 | 7.18 | 8.18 | 7.89 | 8.30 |
| Protein | 37.96 | 37.98 | 38.05 | 38.00 | 38.11 | 38.02 |
| Lipid | 7.03 | 7.09 | 7.14 | 7.10 | 7.06 | 7.15 |
| Ash | 8.30 | 8.55 | 8.83 | 8.38 | 8.26 | 8.22 |
| Fiber | 2.22 | 2.35 | 2.45 | 2.24 | 2.32 | 2.29 |
| NFE | 36.21 | 34.97 | 36.35 | 36.10 | 36.36 | 36.02 |
| Energy (kcal/100g) | 427.12 | 422.71 | 429.23 | 427.55 | 428.86 | 427.80 |
| Arginine | 7.04 | 5.97 | 7.92 | 5.53 | 7.33 | 7.77 |
| Histidine | 3.23 | 3.14 | 2.78 | 2.98 | 2.85 | 3.11 |
| Isoleucine | 4.77 | 4.91 | 5.08 | 4.81 | 5.11 | 4.19 |
| Leucine | 8.90 | 9.35 | 8.69 | 8.89 | 9.31 | 9.96 |
| Lysine | 7.22 | 6.33 | 6.08 | 7.63 | 6.58 | 6.21 |
| Methionine | 2.35 | 1.84 | 1.72 | 1.89 | 2.05 | 2.52 |
| Phenylalanine | 6.11 | 5.90 | 5.72 | 6.55 | 6.26 | 6.85 |
| Threonine | 4.89 | 4.27 | 5.32 | 5.46 | 5.43 | 5.01 |
| Valine | 5.75 | 5.25 | 5.30 | 5.07 | 4.55 | 5.41 |

**Remark** NFE or carbohydrate calculated by 100 - (sums of moisture and other nutrients), Energy calculated by multiplying protein, lipid and NFE with 5.6, 9.4 and 4.1 Kcal/g

ถังไบโอฟิลเตอร์ จำนวน 1 ถัง โปรตีนสกิมเมอร์ จำนวน 1 เครื่อง และถังพักน้ำก่อนดูดน้ำกลับ จำนวน 1 ถัง เก็บตัวอย่างกุ้งที่เหลือเพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการตามวิธีการข้างต้น

**2.4 การทดลอง**

เลี้ยงกุ้งด้วยอาหารทดลองในช่วง 2 สัปดาห์แรก วันละ 10% ของน้ำหนักตัว แบ่งให้ 4 ครั้ง เวลา 06.00, 10.00, 14.00 และ 18.00 น. ดูดตะกอนในตู้ทดลองทุกวันก่อนอาหารมื้อที่ 2 เติมน้ำชดเชยส่วนที่หายไปและเปลี่ยนถ่ายน้ำในตู้กระจกและระบบน้ำหมุนเวียนทุกสัปดาห์ ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำสัปดาห์ละครั้ง ดังนี้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ด้วยเครื่อง DO meter ความเค็มวัด ด้วยเครื่อง Salinometer วัดความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของ $CaCO_3$ (mg/L as$CaCO_3$) ด้วยวิธีไตเตรท ตามวิธี Standard Method ที่อ้างโดย ไมตรี และจารุวรรณ [18] วัดแอมโมเนียรวม หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ด้วยวิธี Direct Nesslerization โดยใช้ Spectrophotometer และไนไตรท์ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ด้วยวิธี Colorimetric Method โดยใช้ Spectrophotometer ชั่งน้ำหนักรวมของกุ้งแต่ละตู้และสุ่มชั่งน้ำหนัก วัดความ



Science32-N2.indd 32 25/4/2567 BE 09:15

ยาวของกุ้งตู้ละ 15 ตัว ทุก ๆ 2 สัปดาห์ หลังการชั่งวัดแต่ละครั้งปรับปริมาณอาหารที่ให้ดังนี้ สัปดาห์ที่ 3-4, 5-6 และ 7-8 ให้อาหารอัตรา 8, 6 และ 4% ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เก็บตัวอย่างกุ้งวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการตามวิธีการข้างต้น

**2.5 การรวบรวมข้อมูล**

น้ำหนักเฉลี่ย (ก.) = น้ำหนักรวม (ก.)/จำนวน (ตัว)

ความยาวเฉลี่ย (ซม.) = ความยาวรวม (ซม.)/จำนวน (ตัว)

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก.) = (น้ำหนักสุดท้าย (ก.) - น้ำหนักเริ่มต้น (ก.))

ความยาวที่เพิ่มขึ้น (ซม.) = (ความยาวสุดท้าย (ซม.) - ความยาวเริ่มต้น (ซม.))

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

อัตราการกิน (ก./ตัว) = น้ำหนักอาหารกินรวม (ก.)/จำนวน (ตัว)

อัตราแลกเนื้อ = ปริมาณอาหารที่กิน (ก.)/น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก.)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร = น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก.)/น้ำหนักโปรตีนที่กิน (ก.)

การสะสมโปรตีนในร่างกาย (%) = 100 x (ปริมาณโปรตีนในร่างกายสุดท้าย (ก.) - ปริมาณโปรตีนในร่างกายเริ่มต้น (ก.))/ปริมาณโปรตีนที่กิน (ก.)

ความคงตัวของอาหาร (%) = 100 x น้ำหนักอาหารที่เหลือจากการแช่น้ำ (ก.)/น้ำหนักอาหารเริ่มต้น (ก.)

การสูญเสียโปรตีนในอาหาร (%) = 100 x (โปรตีนในอาหารเริ่มต้น (ก.) - โปรตีนในอาหารที่เหลือจากการแช่น้ำ (ก.)/ (โปรตีนในอาหารเริ่มต้น (ก.)

**2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์อาหารและคุณค่าทางโภชนาการของสัตว์ทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey 's HSD Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

**3.1 ผลการวิจัย**

***3.1.1 การทดแทนปลาป่น***

การเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของกุ้งทดลองแสดงใน Table 3 โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีความยาวสุดท้าย ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตรารอดตายและอัตราการกินไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) และ 2 มีน้ำหนักสุดท้ายและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 2 สูตร มีค่าเหล่านี้มากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 2 มีอัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนมากกว่าและอัตราแลกเนื้อน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 และ 3 มีค่าเหล่านี้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

***3.1.2 การทดแทนกากถั่วเหลือง***

กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 มีความยาวสุดท้าย ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตรารอดตายและอัตราการกินไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 4 มีน้ำหนักสุดท้ายและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 2 สูตร มีค่าเหล่านี้มากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 มีอัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนในตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)



Science32-N2.indd 33 25/4/2567 BE 09:15

**Table 3** Growth, survival rate and feed utilization of shrimp fed with test diets for 8 weeks

| | Replacing fishmeal | | | Replacing soybean meal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Control (1) | CG+MBM 50% (2) | CG+MBM 100% (3) | CG+DDGS 50% (4) | CG+DDGS 100% (5) | CG+DDGS 100%+Phytase (6) |
| Initial weight (g) | 0.56±0.01$^{a}$ | 0.56±0.02$^{a}$ | 0.56±0.01$^{a}$ | 0.55±0.01$^{a}$ | 0.56±0.01$^{a}$ | 0.55±0.01$^{a}$ |
| Final weight (g) | 5.07±0.16$^{a}$ | 4.85±0.14$^{ab}$ | 4.19±0.06$^{c}$ | 5.15±0.23$^{a}$ | 4.59±0.21$^{b}$ | 4.61±0.18$^{b}$ |
| Weight gain (g) | 4.51± 0.06$^{a}$ | 4.29±0.14$^{ab}$ | 3.63±0.06$^{c}$ | 4.60± 0.14$^{a}$ | 4.03±0.20$^{b}$ | 4.06±0.18$^{b}$ |
| Initial length (cm) | 3.43± 0.06$^{a}$ | 3.48±0.11$^{a}$ | 3.47±0.12$^{a}$ | 3.57± 0.25$^{a}$ | 3.53±0.21$^{a}$ | 3.43±0.21$^{a}$ |
| Final length (cm) | 7.07± 0.11$^{a}$ | 7.23±0.25$^{a}$ | 7.11±0.17$^{a}$ | 7.17± 0.06$^{a}$ | 7.20±0.35$^{a}$ | 7.03±0.15$^{a}$ |
| Length gain (cm) | 3.63± 0.06$^{a}$ | 3.76± 0.17$^{a}$ | 3.64± 0.24$^{a}$ | 3.60± 0.20$^{a}$ | 3.67± 0.25 | 3.60± 0.35$^{a}$ |
| Survival (%) | 64.00±4.00$^{a}$ | 66.67±2.31$^{a}$ | 67.33±4.16$^{a}$ | 69.33±5.03$^{a}$ | 66.00±7.21$^{a}$ | 65.33±4.16$^{a}$ |
| FI (g/shrimp) | 6.62± 0.48$^{a}$ | 6.76±0.39$^{a}$ | 6.64± 0.57$^{a}$ | 6.69± 0.10$^{a}$ | 6.49± 0.60$^{a}$ | 6.74± 0.40$^{a}$ |
| FCR | 1.47± 0.11$^{b}$ | 1.60±0.04$^{ab}$ | 1.78±0.13$^{a}$ | 1.49±0.08$^{b}$ | 1.61±0.10$^{ab}$ | 1.65±0.09$^{ab}$ |
| PER | 1.80± 0.13$^{a}$ | 1.65± 0.06$^{ab}$ | 1.49± 0.11$^{b}$ | 1.76± 0.10$^{a}$ | 1.64± 0.11$^{ab}$ | 1.60± 0.06$^{ab}$ |
| PR (%) | 30.21± 2.19$^{a}$ | 26.84±1.68$^{ab}$ | 24.79± 1.92$^{b}$ | 28.44± 1.63$^{ab}$ | 26.74± 1.82$^{ab}$ | 26.46±0.93$^{ab}$ |

**Remark** Different superscript in row means significant difference ($p<0.05$) ; FI = Feed Intake ; FCR = Feed Conversion Ratio ; PER = Protein Efficiency Ratio ; PR = Protein Retention

### *3.1.3 คุณค่าทางโภชนาการ*

คุณค่าทางโภชนาการของกุ้งทดลองแสดงใน Table 4 เมื่อพิจารณาการทดแทนปลาป่นพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีความชื้น โปรตีน ไขมัน และผลรวมของกากและคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 และ 3 มีเถ้าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่าน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาการทดแทนกากถั่วเหลืองพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 มีความชื้น โปรตีนและผลรวมของกากและคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 และ 6 มีไขมันไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่าน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 มีเถ้าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 มีเถ้ามากที่สุด รองลงมาคือ กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5, 4 และ 6 ตามลำดับ

คุณภาพในระบบทดลองซึ่งเป็นระบบนหมุนเวียน พบว่าอุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำความเป็นกรดด่าง ความเป็นด่าง แอมโมเนียรวมและไนไตรท์ ในตู้ทดลอง และถังพักน้ำก่อนดูดกลับมีค่าอยู่ในช่วง 28.5-33.6 °C, 29-31 ppt, 5.1-5.9 mg/L, 7.8-8.3, 105-130 mg/L, 0.55-1.72 mg/L และ 0.118-0.724 mg/L ตามลำดับ



Science32-N2.indd 34 25/4/2567 BE 09:15

**Table 4** Proximate composition of shrimp whole bodies (%)

| | Replacing fishmeal | | | Replacing soybean meal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Control (1) | CG+MBM 50% (2) | CG+MBM 100% (3) | CG+DDGS 50% (4) | CG+DDGS 100% (5) | CG+DDGS 100%+Phytase (6) |
| Moisture | 74.79±0.30[a] | 74.97±0.22[a] | 74.91±0.21[a] | 75.04±0.23[a] | 75.00±0.13[a] | 75.11±0.16[a] |
| Protein | 16.50±0.11[a] | 16.33±0.19[a] | 16.23±0.22[a] | 16.19±0.08[a] | 16.39±0.11[a] | 16.60±0.36[a] |
| Lipid | 0.91±0.04[ab] | 0.86±0.03[b] | 0.87±0.03[b] | 0.94±0.03[a] | 0.78±0.01[c] | 0.80±0.03[c] |
| Ash | 4.27±0.01[a] | 3.98±0.04[c] | 3.91±0.04[c] | 3.95±0.04[c] | 4.08±0.04[b] | 3.79±0.07[d] |
| Fiber+NFE | 3.53±0.23[a] | 3.86±0.57[a] | 4.08±0.40[a] | 3.88±0.19[a] | 3.75±0.21[a] | 3.70±0.29[a] |

**Remark** Different superscript in row means significant difference ($p<0.05$), Fiber and NFE are shown as total value because fiber is not measured, Initial shrimp contains moisture, protein, lipid, ash and fiber + NFE as 75.10±0.18, 16.81±0.08, 0.79±0.01, 4.06±0.12% and 3.24%, respectively

***3.1.4 ความคงตัวของอาหาร***

ความคงตัวของอาหารทดลองจากการแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง แสดงใน Table 5 พบว่าที่ระดับความเค็ม 0 ppt อาหารสูตรที่ 1, 3 และ 4 มีความคงตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่ามากกว่าอาหารสูตรที่ 2, 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเค็ม 5 ppt อาหารสูตรที่ 1, 3 และ 4 มีความคงตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่ามากกว่าอาหารสูตรที่ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และที่ระดับความเค็ม 15 และ 30 ppt อาหารสูตรที่ 1-4 มีความคงตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่ามากกว่าอาหารสูตรที่ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

***3.1.5 การสูญเสียโปรตีนในอาหาร***

การสูญเสียโปรตีนของอาหารทดลองจากการแช่น้ำ แสดงใน Figure 1 พบว่าที่ทุกระดับความเค็ม อาหารสูตรที่ 5 และ 6 สูญเสียโปรตีนมากกว่าอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และทุกระดับความเค็ม อาหารสูตรที่ 1, 2 และ 4 สูญเสียโปรตีนไม่แตกต่างกัน ($p<0.05$) แต่มีค่ามากกว่าอาหารสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**3.2 วิจารณ์**

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่น และการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและดีดีจีเอสอัตรา 50 และ 100% ตามลำดับ โดยพบว่าการใช้ส่วนผสมของ คอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นอัตรา 50% ทำให้กุ้งเจริญเติบโตและใช้ประโยชน์อาหารต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุมเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราทดแทนเป็น 100% พบว่าค่าเหล่านี้ต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุมอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 50% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่มีโปรตีน 38% และไขมัน 7% และใช้ปลาป่นอัตรา 12% ทั้งนี้การลดลงของการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารน่ามีสาเหตุส่วนหนึ่งจากปริมาณคอร์นกลูเต้นในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารลดลง เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมมีประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งโปรตีน ไขมัน พลังงานและกรดอะมิโนจากคอร์นกลูเต้นด้อยกว่าทั้งปลาป่นและเนื้อและกระดูกป่น [22-23]



Science32-N2.indd 35 25/4/2567 BE 09:15

**Table 5** Water stability of test diets after 2 hours of immersion (%)

| Salinity (ppt) | Replacing fishmeal | | | Replacing soybean meal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Control (1) | CG+MBM 50% (2) | CG+MBM 100% (3) | CG+DDGS 50% (4) | CG+DDGS 100% (5) | CG+DDGS 100%+Phytase (6) |
| 0 | 80.20±0.20$^{a}$ | 78.90±0.40$^{b}$ | 80.37±0.35$^{a}$ | 80.00±0.20$^{a}$ | 78.57±0.40$^{b}$ | 78.23±0.32$^{b}$ |
| 5 | 81.47±0.55$^{a}$ | 80.03±0.25$^{b}$ | 81.43±0.55$^{a}$ | 80.93±0.11$^{ab}$ | 78.53±0.45$^{c}$ | 78.50±0.56$^{c}$ |
| 15 | 84.93± 1.01$^{a}$ | 83.27±1.51$^{a}$ | 84.27±1.28$^{a}$ | 83.30± 0.30$^{a}$ | 80.10±0.36$^{b}$ | 80.60±0.36$^{b}$ |
| 30 | 87.63± 0.91$^{a}$ | 85.97±1.01$^{a}$ | 87.50±1.41$^{a}$ | 86.07± 0.61$^{a}$ | 82.83±0.40$^{b}$ | 82.75±0.75$^{b}$ |

**Remark** Different superscript in row means significant difference ($p<0.05$)

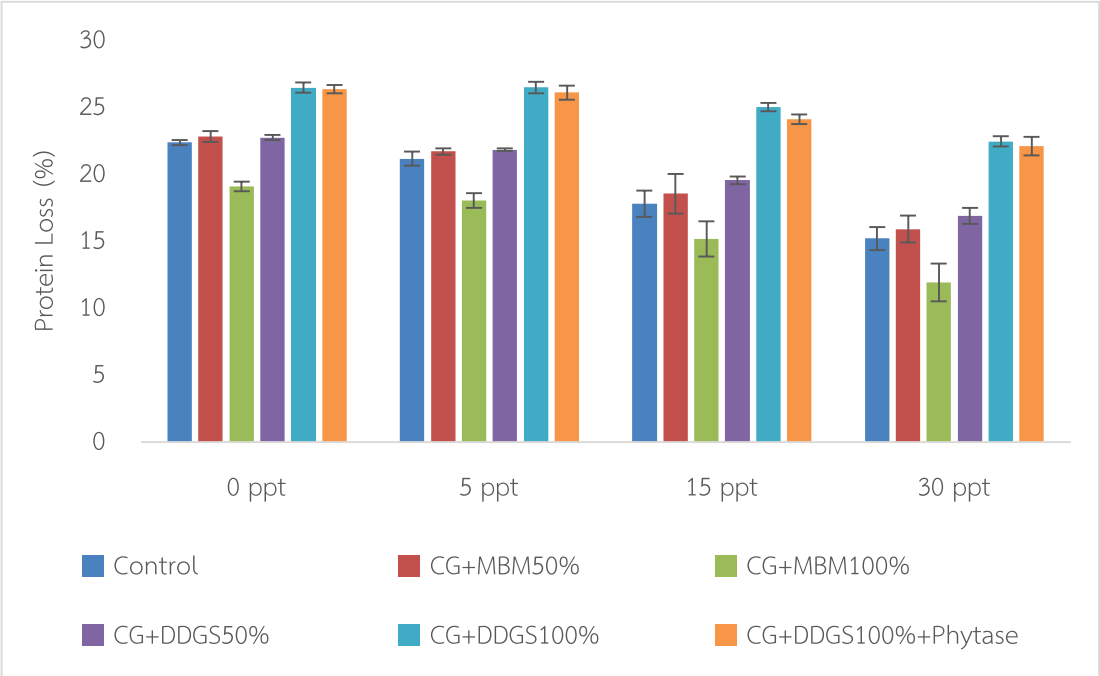


**Figure 1** Percentages of dietary protein loss of test diets after 2 hours of immersion



Science32-N2.indd 36 25/4/2567 BE 09:15

โดยทั้งนี้ข้าวโพดมีโปรตีนชนิด Zein ที่ย่อยยากเนื่องจากละลายในน้ำ กรดและด่างได้น้อย [24] สอดคล้องกับการศึกษาของที่ผ่านมาที่พบว่าคอร์นกลูเต้นทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 30% ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่ใช้ปลาป่น 30% [25] ขณะที่เนื้อและกระดูกป่นสามารถทดแทนปลาป่นได้ถึง 60% ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่ใช้ปลาป่น 22% [26] เมื่อพิจารณาในส่วนของต้นทุนวัตถุดิบพบว่าการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นอัตรา 50% ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการศึกษานี้ทำให้ต้นทุนวัตถุดิบลดลงเนื่องจากทั้งคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นราคาถูกกว่าปลาป่น แต่ต้นทุนวัตถุดิบลดลงเพียง 1.6% เนื่องจากเป็นราคาขายปลีกจากการซื้อในปริมาณน้อย แต่หากเป็นการซื้อปริมาณมากของโรงงานผลิตอาหารกุ้งทะเลเชิงพาณิชย์จะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบลดลงมากกว่านี้และเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน

ส่วนการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองอัตรา 50% ในสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองอัตรา 28% ทำให้กุ้งเจริญเติบโตดีกว่าและใช้ประโยชน์อาหารด้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราการทดแทนเป็น 100% พบว่าการเจริญเติบโตต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุมอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างน้อย 50% แต่ไม่ถึง 100% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นระดับโปรตีน 38% และไขมัน 7% ที่ใช้กากถั่วเหลือง 28% โดยอัตราทดแทน 100% แม้จะไม่มีสารต้านโภชนาการจากกากถั่วเหลือง แต่ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของกุ้งในการศึกษานี้น่าเกิดจากประสิทธิภาพการย่อยอาหารที่ลดลงเนื่องจากปริมาณคอร์นกลูเต้นที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดแทนปลาป่น เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมมีประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน พลังงานและกรดอะมิโน จากกากถั่วเหลืองได้ดีกว่าคอร์นกลูเต้น [22] และอัตราการทดแทนกากถั่วเหลือง 100% ยิ่งทำให้ Zein ในอาหารมากขึ้นทั้งจากคอร์นกลูเต้นและอีกส่วนมาจากดีดีจีเอสเนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากการหมักข้าวโพดเพื่อผลิตเอทานอล ทั้งนี้อาจลดปริมาณ Zein ในสูตรอาหารที่ทดแทนกากถั่วเหลืองอัตรา 100% ได้โดยการลดคอร์นกลูเต้นและเพิ่มดีดีจีเอสให้มากขึ้น โดยมีรายงานว่าสามารถใช้ดีดีจีเอสข้าวโพดทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างน้อย 15% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมที่มีปลาป่น 8% และกากถั่วเหลือง 25% [27] และทดแทนกากถั่วเหลืองได้ 20% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมที่มีปลาป่น 6% และกากถั่วเหลือง 57% [28] เมื่อพิจารณาในส่วนของต้นทุนวัตถุดิบ พบว่าการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองทำให้ต้นทุนวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเนื่องจากคอร์นกลูเต้นแพงกว่ากากถั่วเหลือง ขณะที่ดีดีจีเอสมีราคาใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง แต่อาจลดต้นทุนวัตถุดิบได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนของดีดีจีเอสดังที่กล่าวมาข้างต้น

นอกจากผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารแล้ว ความคงตัวของอาหารและการสูญเสียสารอาหารนับเป็นหลักเกณฑ์ที่สำคัญในการคัดเลือกและกำหนดอัตราการใช้ของวัตถุดิบแต่ละชนิดในสูตรอาหาร ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าอาหารทุกสูตรมีความคงตัวเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าเกิดจากความเข้มข้นของแร่ธาตุในน้ำที่เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยลดการละลายของแร่ธาตุในอาหารส่งผลให้อาหารมีความคงตัวมากขึ้น เมื่อพิจารณาในส่วนของการทดแทนปลาป่นด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นอัตรา 50% พบว่าทำให้อาหารมีความคงตัวและอัตราการสูญเสียโปรตีนจากการแช่น้ำใกล้เคียงกับอาหารสูตรควบคุมที่ทุกระดับความเค็มและค่าดีขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราทดแทนเป็น 100% ซึ่งน่าเกิดจากทั้งปลาป่น คอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นมีความหนาแน่น (Bulk density) ที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เมื่อทดแทนที่อัตราต่างๆ ไม่มีผลกระทบต่อความคงตัวและการสูญเสียสารอาหาร [29] ในทางตรงข้าม การทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและดีดีจีเอส 50% ทำให้



Science32-N2.indd 37 25/4/2567 BE 09:15

อาหารมีความคงตัวและอัตราการสูญเสียโปรตีนจากการแช่น้ำใกล้เคียงกับอาหารสูตรควบคุมที่ทุกระดับความเค็ม แต่ค่าด้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราทดแทนเป็น 100% ซึ่งน่าเกิดจากดีดีจีเอสมีความหนาแน่นน้อยกว่ากากถั่วเหลืองมาก ดังนั้นเมื่อนำมาทดแทนกากถั่วเหลือง 100% ทำให้ให้อาหารมีความหนาแน่นลดลงและส่งผลให้ละลายน้ำและสูญเสียโปรตีนได้ง่ายขึ้น [29-30] สอดคล้องกับการทดลองอาหารสุกรที่พบว่าการเพิ่มปริมาณของดีดีจีเอสที่ทำให้อาหารมีความหนาแน่นลดลงขึ้น [30] อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้อัดเม็ดอาหารใช้เครื่องมืออย่างง่ายและหน้าแว่นอัดอาหารมีความหนาน้อยอาจเป็นสาเหตุให้อาหารมีความแน่นและความคงตัวน้อย เมื่อเทียบกับอาหารกุ้งทะเลที่จำหน่ายในท้องตลาดที่มีความคงตัวสูงจากการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย ดังนั้น หากมีการผลิตอาหารกุ้งทะเลด้วยเทคโนโลยีของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำน่าจะทำให้สามารถใช้ดีดีจีเอสในสูตรอาหารกุ้งทะเลได้มากขึ้นและช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ดียิ่งขึ้น

การศึกษานี้พบว่าจากการทดแทนปลาป่นด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและเนื้อและกระดูกป่นช่วยลดปลาป่นในสูตรอาหารจากระดับ 12% เหลือ 6% ได้ และไม่กระทบการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของกุ้ง สอดคล้องกับการใช้กากถั่วเหลืองและกากคาโนล่าทดแทนปลาป่นที่ช่วยลดปลาป่นในสูตรอาหารจาก 30% เหลือ 6% [31] อีกการทดลองพบว่าปลาป่นระดับ 6% เพียงพอสำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไมเช่นกันหากมีการเสริมเมไทโอนีนให้เพียงพอต่อความต้องการของกุ้ง [32] ในส่วนของการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสพบว่าช่วยลดกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารจากระดับ 28% เหลืออย่างน้อย 14% ใกล้เคียงกับการทดลองที่ผ่านมาที่พบว่าดีดีจีเอสสามารถทดแทนกากถั่วเหลืองได้บางส่วนและช่วยลดกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารจากระดับ 25% เหลือ 17.5% [27] แม้ว่าในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทดแทนปลาป่นและกากถั่วเหลืองควบคู่กัน แต่ไม่สามาถเปรียบเทียบระหว่างสูตรอาหารเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมได้อย่างชัดเจนเนื่องจากแหล่งโปรตีนทางเลือกที่นำมาทดแทนมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ส่วนผสมของเนื้อและกระดูกป่นคอร์นกลูเต้นและดีดีจีเอสร่วมกันเพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารที่มีปลาป่น 6% หรือใช้วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ทดแทนปลาป่นและกากถั่วเหลืองร่วมกันโดยไม่แยกคิดเป็นการทดแทนปลาป่นหรือกากถั่วเหลืองสำหรับสูตรอาหารที่มีปลาป่น 20% และกากถั่วเหลือง 40% เพื่อประเมินหาระดับปลาป่นและกากถั่วเหลืองต่ำสุดที่ไม่ส่งผลกระทบการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนการผลิต

## 4. สรุป

การศึกษานี้สรุปได้ว่าสามารถใช้คอร์นกลูเต้นร่วมกับเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 50% และคอร์น กลูเต้นร่วมกับดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างน้อย 50% สำหรับอาหารกุ้งขาวแวนนาไมที่มีโปรตีน 38% ไขมัน 7% ที่มีปลาป่น 12% และกากถั่วเหลือง 28% โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหาร

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2565 รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่ช่วยเหลือในการทำวิจัย



Science32-N2.indd 38 25/4/2567 BE 09:15

## 6. References


[1] NRC, 1993, Nutrient Requirements of Fish, National Academy Press, Washington DC, USA, 128 p.

[2] Tacon, A.G.J. and Metian, M., 2008, Global overview on the use of fishmeal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects, Aquaculture. 285: 146-158.

[3] Kook, M.C., Cho, S.C., Hong, Y.H. and Park, H., 2014, *Bacillus subtilis* fermentation for enhancement of feed nutritive value of soybean meal, J. Appl. Biol. Chem. 57(2): 183-188.

[4] Francis, G., Makkar, H.P.S. and Becker, K., 2001, Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish, Aquaculture. 199: 197-227.

[5] Bonnardeaux, J., 2007, Uses for Canola Meal, Report, Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Australia, 15 p.

[6] Glencross, B.D., 2007, Canola/Rapeseed in Aquafeeds, pp. 50-59, Proceedings of The Fourth Workshop for Harvesting The Benefits of Grain in Aquaculture Feeds, Department of Fisheries, Western Australia, Australia.

[7] Maruyama, N., Sato, R., Wada, Y., Matsumura, Y., Goto, H., Okuda, S., Nakagawa, E. and Utsumi, S., 1999, Structure–physicochemical function relationships of soybean β-conglycinin constituent subunits, J. Agric. Food Chem. 47: 5278-5284.

[8] Sun, P., Li, D., Dong, B., Qiao, S. and Ma, X., 2008, Effects of soybean glycinin on performance and immune function in early weaned pigs, Arch. Anim Nutr. 62: 313-321.

[9] Hao, Y., Zhan, Z.F. and Guo, P.F., 2009, Soybean β-conglycinin-Induced gut hypersensitivity reaction in a piglet model, Arch. Anim. Nutr. 63: 188-202.

[10] Saetoo, P., Nuntapong, N., Sri-Nhonghang, S. and Phromkunthong, W., 2019, Effect of dietary protease supplementation on growth performance and digestibility coefficient in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), Khon Kaen Agr. J. 47(3): 433-444. (In Thai)

[11] Lin, Y.H. and Mui, J.J., 2017, Comparison of dietary inclusion of commercial and fermented soybean meal on oxidative status and non-specific immune responses in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Fish Shellfish Immunol., 63: 208-212.

[12] Sookying, D. and Davis, D.A., 2011, Use of soy protein concentrate in practical diets for Pacific white shrimp *(Litopenaeus vannamei)* reared under field conditions, Aquac. Int. 20: 357-371

[13] Bae, J., Hamidoghli, A., Djaballah, M.S., Maamri, S., Hamdi, A., Souffi, I., Farris, N.W. and Bai, S.C., 2020, Effects of three different dietary plant protein sources as fishmeal replacers in juvenile white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Fish Aquatic Sci. 23: 2.




Science32-N2.indd 39 25/4/2567 BE 09:15

[14] Wang, J., Zhang, H., Yang, Q., Tan, B., Dong, X., Chi, S., Liu, H. and Zhang, S., 2020, Effects of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization and non-specific immune enzyme activities for juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Aquac. Rep. 16: 100255.

[15] Guo, J., Salze, G. and Davis, D.A., 2019, Use of high-protein brewer's yeast products in practical diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Aquac. Nutr. 25(3): 680-690.

[16] AOAC, 2016, Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Maryland, USA, 3172 p.

[17] Thai Industrial Standards Institute, 1993, Shrimp Feed Industrial Standard, Ministry of Industry, Bangkok. (in Thai)

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

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

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

[21] Samocha, T.M., Davis, D.A., Saoud, I.P. and 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: 197-203.

[22] Liu, X.E., Ye, J.D., Kong, J.H., Wang, K. and Wang, A.L., 2013, Apparent digestibility of 12 protein-origin ingredients for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, N. Am. J. Aquac. 75(1): 90-98.

[23] Yang, Q., Zhou, X., Zhou, Q., Tan, B., Chi, S. and Dong, X., 2009, Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone, Aquac. Res. 41(1): 78-86.

[24] Tortorella, S., Maturi, M., Buratti, V.V., Vozzolo, G., Locatelli, E., Sambri, L. and Franchini, M.C., 2021, Zein as a versatile biopolymer: different shapes for different biomedical applications, RSC Adv. 11: 39004-39026.

[25] Lin, H., Deng, Y., Zhu, D., Yang, Q., Zhou, X., Tan, B., Feng, L. and Chi, S., 2023, Effects of partially replacing fishmeal with corn gluten meal on growth, feed utilization, digestive enzyme activity, and apparent nutrient digestibility for juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Front. Vet. Sci. 10: 1162599.

[26] Wei, Z., Kangsen, M., Baigang, Z., Fuzhen, W. and Yu, Y., 2004, A study on the meat and bone meal and poultry by-product meal as protein substitutes of fish meal



Science32-N2.indd 40 25/4/2567 BE 09:15

in practical diets for *Litopenaeus vannamei* juveniles, J. Ocean Univ. China. 3: 157-160

[27] Novriadi, R., Suwendi, E. & Tan, R., 2022, The use of corn distiller's dried grains with solubles as a protein source in practical diets for Pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei*, Aquac. Rep. 25: 101209.

[28] Rhodes, M.A., Yu, D., Zhou, Y. and Davis, D.A., 2015, Use of lipid-extracted distillers dried grain with solubles (DDGS) in diets for Pacific white shrimp, N. Am. J. Aquac. 77(4): 539-546.

[29] FAO, 1987, The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp - A Training Manual, Available Source: https://www.fao.org/3/ab470e/AB470E00.htm, Oct 23, 2023.

[30] Letsche, N., Lammers, P.J. and Honeyman, M.S., 2009, Bulk Density of Bio-Fuel Products, Report, Iowa State University, Iowa, USA, 5 p.

[31] Suárez, J., Gaxiola, G., Mendoza, R., Cadavid, S., Garcia, G., Alanis, G., Faillace, J. and Cuzon, G., 2009, Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), Aquaculture. 289: 118-123.

[32] Nunes, A.J.P. and Masagounder, K., 2023, Optimal levels of fish meal and methionine in diets for juvenile *Litopenaeus vannamei* to support maximum growth performance with economic efficiency, Animals. 13(1): 20.



Science32-N2.indd 41 25/4/2567 BE 09:15