



# การใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเตนและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่น และส่วนผสมของคอร์นกลูเตนและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลือง 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<sup>1,\*</sup>, วีระวรรณ จาดพันธ์อินทร์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำชลบุรี กรมประมง ชลบุรี 20110

<sup>2</sup>กลุ่มวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดและพัฒนาธุรกิจ กรมประมง ชลบุรี 20110

Pichet Plaipetch<sup>1,\*</sup>, Weerawan Jadphan-In<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chonburi Aquatic Animal Feed Research and Development Center, Department of Fisheries,  
Chou Buri 20110

<sup>2</sup>Business Development and Inland Aquaculture Research and Development Group,  
Department of Fisheries

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 ทดแทนปลาป่นด้วยคอร์นกลูเตนร่วมกับเนื้อและกระดูกป่นที่ระดับ 50 และ 100% สูตร 4-6 ทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยคอร์นกลูเตนร่วมกับดีดีจีเอสที่ระดับ 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

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

**คำสำคัญ:** คอร์นกลูเตน; 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

## 1. บทนำ

ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่นิยมใช้ในการผลิตอาหารกึ่งทะเลเนื่องจากมีโปรตีนสูง มีความสมดุลของกรดอะมิโนจำเป็น ย่อยง่ายและเป็นสารตั้งต้นการกิน [1] ในอดีตโรงงานผลิตอาหารกึ่งทะเลใช้ปลาป่นในสูตรอาหารกึ่งทะเลดำและกึ่งขาวแวนนาไมประมาณ 25 และ 20% ตามลำดับ [2] อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันราคาจำหน่าย กึ่งทะเลที่ตกต่ำลงทำให้โรงงานผลิตอาหารกึ่งทะเล จำเป็นต้องลดปริมาณปลาป่นในสูตรอาหารลง และใช้แหล่งโปรตีนทดแทนเพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถจำหน่ายอาหารในราคาเดิมหรือขึ้นราคาอาหารให้น้อยที่สุด ทั้งนี้ แหล่งโปรตีนทดแทนที่นิยมมากที่สุดคือกากถั่วเหลือง เนื่องจากเป็นโปรตีนพืชที่มีผลผลิตเป็นอันดับ 1 ของโลก มีโปรตีนสูงและมีกรดอะมิโนจำเป็นดีกว่าโปรตีนพืชชนิดอื่น ๆ [3] อย่างไรก็ตาม กากถั่วเหลืองมีสารยับยั้งโภชนาการ (Anti-nutritional factors, ANFs) เช่น กรดไฟติก ซาโปนิน โอลิโกแซกคาไรด์และ ทริปซินอินฮิบิเตอร์ [4-6] ที่ลดประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร รวมทั้งโปรตีนประมาณ 30-40% ประกอบด้วย Glycinin และ  $\beta$ -conglycinin [7] ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Allergic protein) และงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าทำให้ลำไส้ของสุกรผิดปกติ [8-9]

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการลดปลาป่นและเพิ่มกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารทำให้กึ่งขาวแวนนาไม เจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อด้อยลงเนื่องจากมีผลกระทบต่อเอนไซม์ย่อยโปรตีน [10] และยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของกึ่งด้วย เช่น ทำให้ปริมาณเม็ดเลือดชนิดต่างๆ กิจกรรมเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสในน้ำเลือด กิจกรรมเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตสในตับของกึ่งขาวแวนนาไมลดลงและสารที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมันในตับมีมากขึ้น [11] ดังนั้น จากข้อจำกัดของกากถั่วเหลืองดังกล่าวมาข้างต้นทำให้มีความพยายามในการปรับปรุงคุณภาพของกากถั่วเหลือง 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 ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารกึ่งขาวแวนนาไมอัตรา 6-20% พบว่าการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อไม่แตกต่างจากอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองปกติ [12] ขณะที่การทดแทนโปรตีนปลาป่นอัตรา 20 และ 40% ด้วยกากถั่วเหลืองปกติและ FSBM ที่หมักด้วย *Bacillus subtilis* พบว่าการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพอาหารก็ไม่แตกต่างกัน [13]

นอกจากการปรับปรุงคุณภาพของกากถั่วเหลืองแล้ว มีความพยายามในการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยแหล่งโปรตีนทางเลือกอื่น ๆ และพบว่าได้ผลดี เช่น สามารถใช้กากเมล็ดฝ้ายทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลืองได้ถึง 87% ในสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่น 20% และกากถั่วเหลือง 36% โดยไม่กระทบการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อ [14] หรือบริวเวอรียีสต์ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ 50% สำหรับสูตรอาหารที่มีปลาป่นประมาณ 5% และกากถั่วเหลืองประมาณ 54% [15] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาจไม่จำเป็นต้องใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีราคาแพงกว่าปลาป่นทดแทนกากถั่วเหลืองปกติ โดยงานวิจัยนี้สนใจแหล่งโปรตีนทางเลือก 2 ชนิด คือ คอร์นกลูเตนและดีดีจีเอส เนื่องจากมีปริมาณเพียงพอสำหรับการผลิตอาหารกึ่งทะเลเชิงพาณิชย์และยังเป็นแหล่งสารสีที่มีประโยชน์สำหรับกึ่งทะเล อย่างไรก็ตาม การใช้แหล่งโปรตีนเพียงชนิดเดียวอาจได้ผลไม่ดีเพราะข้อจำกัดเรื่องสารอาหารและสารต้านโภชนาการ เช่น มีโปรตีนต่ำกว่าหรือมีกากอาหารมากกว่ากากถั่วเหลือง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้ส่วนผสมของส่วนผสมของคอร์นกลูเตนและดีดีจีเอส ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารกึ่งขาวแวนนาไมวัยรุ่นเพื่อลดปริมาณกากถั่วเหลืองให้ได้มากที่สุด รวมทั้งศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเตนและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ได้มากยิ่งขึ้น

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (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 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเตนและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนโปรตีนปลาป่น 50%

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเตนและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนโปรตีนปลาป่น 100%

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเตนและดีดีจีเอสทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลือง 50%

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเตนและดีดีจีเอสทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลือง 100%

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารที่ใช้คอร์นกลูเตนและดีดีจีเอสทดแทนโปรตีนกากถั่วเหลือง 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 แคลเซียม โปรบีโอเนต 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 จากนั้นนำอาหารไปอบในตู้อบไอน้ำโดยใช้อุณหภูมิ 90-95 °C นาน 5 นาที เพื่อให้แห้งและนำอาหารไปตุ๋นแช่แข็งใช้อุณหภูมิ 60 °C จนแห้ง ก่อนทำการร่อนอาหารด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดเศษอาหารและฝุ่นบรรจุอาหารลงถุงและเก็บรักษาอาหารทดลองในตู้เย็น (4-10 °C) จนกระทั่งถึงการทดลอง นอกจากนี้ ทำการเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละสูตรๆ 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

กึ่งทดลองเป็นลูกกุ้งขาวแวนนาไมสายพันธุ์ทนโรครยะ PL30 จากโรงเพาะฟักเอกชนในจังหวัดชลบุรี ซึ่งอนุบาลในน้ำความเค็ม 25 ppt ผ่านการฝึกให้กินอาหารสำเร็จรูปทางการค้า จำนวน 3,000 ตัว และมีการปรับความเค็มน้ำเท่ากับ 30 ppt ก่อนมาเลี้ยงในบ่อคอนกรีตโดยใช้น้ำความเค็ม 30 ppt ให้อาหารสำเร็จรูป กุ้งทะเลที่มีโปรตีนประมาณ 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 ตู้ๆ ละ 50 ตัว โดยตู้ทดลองทุกตู้มีการต่อเข้ากับระบบน้ำหมุนเวียนที่ประกอบด้วยถังตกตะกอนจำนวน 2 ถัง

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
Bakers 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<sub>1</sub> 46, B<sub>2</sub> 40.32, B<sub>3</sub> 73.4, B<sub>5</sub> 50, B<sub>6</sub> 60, B<sub>12</sub> 0.01, Folic acid 3.36, Inositol (98%) 197, Choline chloride (50%) 450, Biotin (2%) 1, A/D<sub>3</sub> 2.35, E (50%) 30 K (50%) 26.56 (modified from [19])  
 \*\*Mineral (g/Kg) : KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 100, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 100, CaHPO<sub>4</sub> 150, KCl 54.28, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 283.98, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 40, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 131.93, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 2.5, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 6.5, NaSeO<sub>3</sub> 0.1, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 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

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

Parameter	Replacing fishmeal			Replacing soybean meal		
	Control (1)	CG+MBM	CG+MBM	CG+DDGS	CG+DDGS	CG+DDGS
		50% (2)	100% (3)	50% (4)	100% (5)	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

ถังไปโอฟิลเตอร์ จำนวน 1 ถัง โพรตีนสกีเมอร์ จำนวน 1 เครื่อง และถังพักน้ำก่อนดูดน้ำกลับ จำนวน 1 ถัง เก็บตัวอย่างกึ่งที่เหลือเพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ตามวิธีการข้างต้น

**2.4 การทดลอง**

เลี้ยงกุ้งด้วยอาหารทดลองในช่วง 2 สัปดาห์แรก วันละ 10% ของน้ำหนักตัว แบ่งให้ 4 ครั้ง เวลา 06.00, 10.00, 14.00 และ 18.00 น. ดูดตะกอนในตู้ทดลอง ทุกวันก่อนอาหารมื้อที่ 2 เติมน้ำสดเขยส่วนที่หายไปและ เปลี่ยนถ่ายน้ำในตู้กระจกและระบบน้ำหมุนเวียนทุก สัปดาห์ ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำสัปดาห์ละครั้ง ดังนี้

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ด้วยเครื่อง DO meter ความเค็มวัด ด้วยเครื่อง Salinometer วัดความเป็นกรด ต่างและอุณหภูมิด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ค่า ความเป็นต่าง หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของ CaCO<sub>3</sub> (mg/L asCaCO<sub>3</sub>) ด้วยวิธีไตเตรท ตามวิธี Standard Method ที่อ้างโดย ไมตรี และจากรุวรรณ [18] วัด แอมโมเนียรวม หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ด้วย วิธี Direct Nesslerization โดยใช้ Spectrophotometer และไนโตรเจน หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ด้วยวิธี Colorimetric Method โดยใช้ Spectrophotometer ชั่งน้ำหนักรวมของกุ้งแต่ละตู้และสุ่มชั่งน้ำหนัก วัดความ

ยาวของกึ่งตุลละ 15 ตัว ทุก ๆ 2 สัปดาห์ หลังการขังวัดแต่ละครั้งปรับปริมาณอาหารที่ให้อังนี้ สัปดาห์ที่ 3-4, 5-6 และ 7-8 ให้อาหารอัตรา 8, 6 และ 4% ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เก็บตัวอย่างกึ่งวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการตามวิธีการข้างต้น

## 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.))

อัตราการตาย (%) =  $100 \times \frac{\text{จำนวนที่เหลือ (ตัว)}}{\text{จำนวนเริ่มต้น (ตัว)}}$

อัตราการกิน (ก./ตัว) =  $\frac{\text{น้ำหนักอาหารกินรวม (ก.)}}{\text{จำนวน (ตัว)}}$

อัตราแลกเนื้อ =  $\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (ก.)}}{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก.)}}$

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร =  $\frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก.)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่กิน (ก.)}}$

การสะสมโปรตีนในร่างกาย (%) =  $100 \times \frac{\text{ปริมาณโปรตีนในร่างกายสุดท้าย (ก.) - ปริมาณโปรตีนในร่างกายเริ่มต้น (ก.)}}{\text{ปริมาณโปรตีนที่กิน (ก.)}}$

ความคงตัวของอาหาร (%) =  $100 \times \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่เหลือจากการแช่น้ำ (ก.)}}{\text{น้ำหนักอาหารเริ่มต้น (ก.)}}$

การสูญเสียโปรตีนในอาหาร (%) =  $100 \times \frac{\text{โปรตีนในอาหารเริ่มต้น (ก.) - โปรตีนในอาหารที่เหลือจากการแช่น้ำ (ก.)}}{\text{โปรตีนในอาหารเริ่มต้น (ก.)}}$

## 2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์อาหารและคุณค่าทางโภชนาการของสัตว์ทดลอง

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

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

### 3.1 ผลการวิจัย

#### 3.1.1 การทดแทนปลาป่น

การเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของกึ่งทดลองแสดงใน Table 3 โดยกึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีความยาวสุดท้าย ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตรารอดตายและอัตราการกินไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) และ 2 มีน้ำหนักสุดท้ายและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 2 สูตร มีค่าเหล่านี้มากกว่ากึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 2 มีอัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหาร และการสะสมโปรตีนไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนมากกว่าและอัตราแลกเนื้อน้อยกว่ากึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และกึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 และ 3 มีค่าเหล่านี้ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ )

#### 3.1.2 การทดแทนกากถั่วเหลือง

กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 มีความยาวสุดท้าย ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตรารอดตายและอัตราการกินไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และ 4 มีน้ำหนักสุดท้ายและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 2 สูตร มีค่าเหล่านี้มากกว่ากึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กึ่งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, 4, 5 และ 6 มีอัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารและการสะสมโปรตีนในตัวไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ )

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

**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 ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร

ที่ 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

คุณภาพในระบบทดลองซึ่งเป็นระบบบนหมุนเวียน พบว่าอุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำความเป็นกรดต่าง ความเป็นด่าง แอมโมเนียรวมและไนไตรท์ ในตู้ทดลอง และถึงพักน้ำก่อนดูกลับ มีค่าอยู่ในช่วง 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

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 <sup>a</sup>	74.97±0.22 <sup>a</sup>	74.91±0.21 <sup>a</sup>	75.04±0.23 <sup>a</sup>	75.00±0.13 <sup>a</sup>	75.11±0.16 <sup>a</sup>
Protein	16.50±0.11 <sup>a</sup>	16.33±0.19 <sup>a</sup>	16.23±0.22 <sup>a</sup>	16.19±0.08 <sup>a</sup>	16.39±0.11 <sup>a</sup>	16.60±0.36 <sup>a</sup>
Lipid	0.91±0.04 <sup>ab</sup>	0.86±0.03 <sup>b</sup>	0.87±0.03 <sup>b</sup>	0.94±0.03 <sup>a</sup>	0.78±0.01 <sup>c</sup>	0.80±0.03 <sup>c</sup>
Ash	4.27±0.01 <sup>a</sup>	3.98±0.04 <sup>c</sup>	3.91±0.04 <sup>c</sup>	3.95±0.04 <sup>c</sup>	4.08±0.04 <sup>b</sup>	3.79±0.07 <sup>d</sup>
Fiber+NFE	3.53±0.23 <sup>a</sup>	3.86±0.57 <sup>a</sup>	4.08±0.40 <sup>a</sup>	3.88±0.19 <sup>a</sup>	3.75±0.21 <sup>a</sup>	3.70±0.29 <sup>a</sup>

**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 ( $p < 0.05$ )

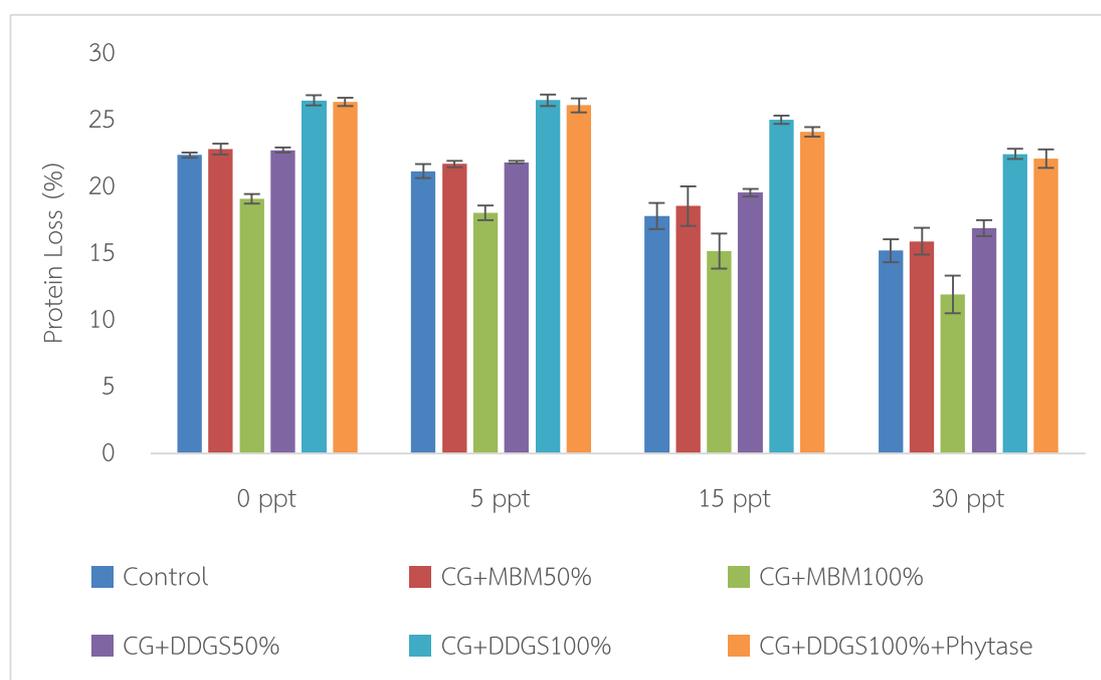
### 3.2 วิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทดแทนปลาป่นด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและเนื้อและกระดูกป่น และการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและเนื้อและดีดีจีเอสอัตรา 50 และ 100% ตามลำดับ โดยพบว่าการใช้ส่วนผสมของ คอร์นกลูเต็นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นอัตรา 50% ทำให้กุ้งเจริญเติบโตและใช้ประโยชน์อาหารต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุมเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราทดแทนเป็น 100% พบว่าค่าเหล่านี้ต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุมอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 50% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่มีโปรตีน 38% และไขมัน 7% และใช้ปลาป่นอัตรา 12% ทั้งนี้การลดลงของการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารน่ามีสาเหตุส่วนหนึ่งจากปริมาณคอร์นกลูเต็นในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารลดลงเนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมมีประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบโปรตีน ไขมัน พลังงานและกรดอะมิโนจากคอร์นกลูเต็นน้อยกว่าทั้งปลาป่นและเนื้อและกระดูกป่น [22-23]

**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 <sup>a</sup>	78.90±0.40 <sup>b</sup>	80.37±0.35 <sup>a</sup>	80.00±0.20 <sup>a</sup>	78.57±0.40 <sup>b</sup>	78.23±0.32 <sup>b</sup>
5	81.47±0.55 <sup>a</sup>	80.03±0.25 <sup>b</sup>	81.43±0.55 <sup>a</sup>	80.93±0.11 <sup>ab</sup>	78.53±0.45 <sup>c</sup>	78.50±0.56 <sup>c</sup>
15	84.93± 1.01 <sup>a</sup>	83.27±1.51 <sup>a</sup>	84.27±1.28 <sup>a</sup>	83.30± 0.30 <sup>a</sup>	80.10±0.36 <sup>b</sup>	80.60±0.36 <sup>b</sup>
30	87.63± 0.91 <sup>a</sup>	85.97±1.01 <sup>a</sup>	87.50±1.41 <sup>a</sup>	86.07± 0.61 <sup>a</sup>	82.83±0.40 <sup>b</sup>	82.75±0.75 <sup>b</sup>

**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

โดยทั้งนี้ข้าวโพดมีโปรตีนชนิด Zein ที่ย่อยยากเนื่องจากละลายในน้ำ กรดและด่างได้น้อย [24] สอดคล้องกับการศึกษาของที่ผ่านมาที่พบว่าคอร์นกลูเต็นทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 30% ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่ใช้ปลาป่น 30% [25] ขณะที่เนื้อและกระดูกป่นสามารถทดแทนปลาป่นได้ถึง 60% ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นที่ใช้ปลาป่น 22% [26] เมื่อพิจารณาในส่วนของต้นทุนวัตถุดิบพบว่าการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นอัตรา 50% ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการศึกษานี้ทำให้ต้นทุนวัตถุดิบลดลงเนื่องจากทั้งคอร์นกลูเต็นและเนื้อและกระดูกป่นราคาถูกกว่าปลาป่น แต่ต้นทุนวัตถุดิบลดลงเพียง 1.6% เนื่องจากเป็นราคาขายปลีกจากการซื้อในปริมาณน้อย แต่หากเป็นการซื้อปริมาณมากของโรงงานผลิตอาหารทะเลเชิงพาณิชย์จะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบลดลงมากกว่านี้และเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน

ส่วนการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองอัตรา 50% ในสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองอัตรา 28% ทำให้กุ้งเจริญเติบโตดีกว่าและใช้ประโยชน์อาหารด้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราทดแทนเป็น 100% พบว่าการเจริญเติบโตต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุมอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างน้อย 50% แต่ไม่ถึง 100% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมระยะวัยรุ่นระดับโปรตีน 38% และไขมัน 7% ที่ใช้กากถั่วเหลือง 28% โดยอัตราทดแทน 100% แม้จะไม่มีสารต้านโภชนาการจากกากถั่วเหลือง แต่ผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์อาหารของกุ้งในการศึกษานี้ น่าเกิดจากประสิทธิภาพการย่อยอาหารที่ลดลงเนื่องจากปริมาณคอร์นกลูเต็นที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดแทนปลาป่น เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมมีประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบ โปรตีน ไขมัน พลังงานและกรดอะมิโน จากกากถั่วเหลืองได้ดีกว่าคอร์นกลูเต็น [22] และอัตราทดแทนกากถั่วเหลือง 100% ยิ่งทำให้ Zein ในอาหาร

มากขึ้นทั้งจากคอร์นกลูเต็นและอีกส่วนมาจากดีดีจีเอส เนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากการหมักข้าวโพดเพื่อผลิตเอทานอล ทั้งนี้อาจลดปริมาณ Zein ในสูตรอาหารที่ทดแทนกากถั่วเหลืองอัตรา 100% ได้โดยการลดคอร์นกลูเต็นและเพิ่มดีดีจีเอสให้มากขึ้น โดยมีรายงานว่าสามารถใช้ดีดีจีเอสข้าวโพดทดแทนกากถั่วเหลืองได้น้อย 15% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมที่มีปลาป่น 8% และกากถั่วเหลือง 25% [27] และทดแทนกากถั่วเหลืองได้ 20% สำหรับสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไมที่มีปลาป่น 6% และกากถั่วเหลือง 57% [28] เมื่อพิจารณาในส่วนของต้นทุนวัตถุดิบ พบว่าการใช้ส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองทำให้ต้นทุนวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเนื่องจากคอร์นกลูเต็นแพงกว่ากากถั่วเหลือง ขณะที่ดีดีจีเอสมีราคาใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง แต่อาจลดต้นทุนวัตถุดิบได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนของดีดีจีเอสตั้งที่กล่าวมาข้างต้น

นอกจากผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์อาหารแล้ว ความคงตัวของอาหารและการสูญเสียสารอาหารนับเป็นหลักเกณฑ์ที่สำคัญในการคัดเลือกและกำหนดอัตราการใช้ของวัตถุดิบแต่ละชนิดในสูตรอาหาร ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าอาหารทุกสูตรมีความคงตัวเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากความเข้มข้นของแร่ธาตุในน้ำที่เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยลดการละลายของแร่ธาตุในอาหารส่งผลให้อาหารมีความคงตัวมากขึ้น เมื่อพิจารณาในส่วนของการทดแทนปลาป่นด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและเนื้อและกระดูกป่นอัตรา 50% พบว่าทำให้อาหารมีความคงตัวและอัตราการสูญเสียโปรตีนจากการแช่น้ำใกล้เคียงกับอาหารสูตรควบคุมที่ทุกระดับความเค็มและค่าดัชนีเมื่อเพิ่มอัตราทดแทนเป็น 100% ซึ่งน่าจะเกิดจากทั้งปลาป่น คอร์นกลูเต็นและเนื้อและกระดูกป่นมีความหนาแน่น (Bulk density) ที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เมื่อทดแทนที่อัตราต่างๆ ไม่มีผลกระทบต่อความคงตัวและการสูญเสียสารอาหาร [29] ในทางตรงข้าม การทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเต็นและเนื้อและดีดีจีเอส 50% ทำให้

อาหารมีความคงตัวและอัตราการสูญเสียโปรตีนจากการแช่แข็งใกล้เคียงกับอาหารสูตรควบคุมที่ทุกระดับความเค็ม แต่ค่าด้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราทดแทนเป็น 100% ซึ่งนำเกิดจากดีดีจีเอสมีความหนาแน่นน้อยกว่ากากถั่วเหลืองมาก ดังนั้นเมื่อนำมาทดแทนกากถั่วเหลือง 100% ทำให้ให้อาหารมีความหนาแน่นลดลงและส่งผลกระทบต่อรสชาติและสูญเสียโปรตีนได้ง่ายขึ้น [29-30] สอดคล้องกับการทดลองอาหารสูตรที่พบว่า การเพิ่มปริมาณของดีดีจีเอสที่ทำให้ให้อาหารมีความหนาแน่นลดลงขึ้น [30] อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ได้อัดเม็ดอาหารใช้เครื่องมืออย่างง่ายและหน้าแวนอัดอาหารมีความหนาแน่นอาจเป็นสาเหตุให้อาหารมีความแน่นและความคงตัวน้อย เมื่อเทียบกับอาหารกึ่งทะเลที่จำหน่ายในท้องตลาดที่มีความคงตัวสูงจากการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย ดังนั้น หากมีการผลิตอาหารกึ่งทะเลด้วยเทคโนโลยีของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น่าจะทำให้สามารถใช้ดีดีจีเอสในสูตรอาหารกึ่งทะเลได้มากขึ้นและช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ดียิ่งขึ้น

การศึกษานี้พบว่าจากการทดแทนปลาป่นด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเตนและเนื้อและกระดูกป่นช่วยลดปลาป่นในสูตรอาหารจากระดับ 12% เหลือ 6% ได้ และไม่กระทบการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของกึ่ง สอดคล้องกับการใช้กากถั่วเหลืองและกากคาโนลาทดแทนปลาป่นที่ช่วยลดปลาป่นในสูตรอาหารจาก 30% เหลือ 6% [31] อีกการทดลองพบว่าปลาป่นระดับ 6% เพียงพอสำหรับการผลิตอาหารกึ่งขาวแวนนาไม่เช่นกันหากมีการเสริมเมไทโอนีนให้เพียงพอต่อความต้องการของกึ่ง [32] ในส่วนของการทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยส่วนผสมของคอร์นกลูเตนและดีดีจีเอสพบว่าช่วยลดกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารจากระดับ 28% เหลืออย่างน้อย 14% ใกล้เคียงกับการทดลองที่ผ่านมาที่พบว่าดีดีจีเอสสามารถทดแทนกากถั่วเหลืองได้บางส่วน

และช่วยลดกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารจากระดับ 25% เหลือ 17.5% [27] แม้ว่าในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทดแทนปลาป่นและกากถั่วเหลืองควบคู่กัน แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบระหว่างสูตรอาหารเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมได้อย่างชัดเจนเนื่องจากแหล่งโปรตีนทางเลือกที่นำมาทดแทนมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ส่วนผสมของเนื้อและกระดูกป่นคอร์นกลูเตนและดีดีจีเอสรวมกันเพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารที่มีปลาป่น 6% หรือใช้วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ทดแทนปลาป่นและกากถั่วเหลืองร่วมกันโดยไม่แยกคิดเป็นการทดแทนปลาป่นหรือกากถั่วเหลืองสำหรับสูตรอาหารที่มีปลาป่น 20% และกากถั่วเหลือง 40% เพื่อประเมินหาระดับปลาป่นและกากถั่วเหลืองต่ำสุดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์อาหารและต้นทุนการผลิต

#### 4. สรุป

การศึกษานี้สรุปได้ว่าสามารถใช้คอร์นกลูเตนร่วมกับเนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นได้ไม่เกิน 50% และคอร์น กลูเตนร่วมกับดีดีจีเอสทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างน้อย 50% สำหรับอาหารกึ่งขาวแวนนาไมที่มีโปรตีน 38% ไขมัน 7% ที่มีปลาป่น 12% และกากถั่วเหลือง 28% โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหาร

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2565 รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่ช่วยเหลือในการทำวิจัย

## 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  $\beta$ -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  $\beta$ -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.

- [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

- 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., Failace, 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.