ความเป็นไปได้ในการใช้โปรตีนจากข้าวทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารกุ้งก้ามกราม

Potential of Using Rice Protein in Replacing Soybean Meal in the Diet of the Giant Fresh water Prawn

บัณฑิตย์ เต็งเจริญกุล (Bundit Tengjaroenkul)[1]
คมกริช พิมพ์ภักดี (Komkrit Pimpakdee)[2]
อุไร เต็งเจริญกุล (Urai Tengjaroenkul)[3]

บทคัดย่อ

กุ้งก้ามกรามวัยรุ่น (*Macrobrachium rosenbergii*) น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 5 กรัม ได้รับอาหารที่ใช้โปรตีนสกัดจากข้าวแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า กุ้งที่กินอาหารสูตรควบคุม ซึ่งไม่มีโปรตีนจากข้าวผสมในอาหาร มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นสูงสุด แต่มีอัตรารอดต่ำสุด อย่างไรก็ตามกุ้งทดลองในทุก ๆ สูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในแง่ดัชนีการเติบโตรายวัน เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มต่อวัน อัตราการเติบโตจำเพาะ และอัตรารอด นอกจากนี้ผลการเจริญเติบโตในระดับชีวโมเลกุลของกุ้งในทุกสูตรอาหาร พบว่าปริมาณดีเอ็นเอไม่สัมพันธ์สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักกุ้ง ส่วนการตรวจด้านจุลพยาธิวิทยา ก็ไม่พบวิการในเนื้อเยื่อเหงือกและตับของกุ้งที่ได้รับโปรตีนจากข้าว ผลการศึกษาวิจัยในข้างต้นที่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกุ้งกลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลือง และที่ใช้โปรตีนจากข้าว ชี้ให้เห็นว่าโปรตีนจากข้าวน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะใช้แทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารกุ้งก้ามกราม

Abstract

Juveniles of the Giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) weighed about 5 grams were fed on diets containing four different levels (0, 10, 20 or 30%) of rice protein in replacing soybean meal for 10 weeks. The results showed that the juvenile prawns in the control group feeding on diet lacking of the rice protein gained the highest body weight and growth rate. However, there are not statistically different among the experimental groups, in terms of daily growth index, percentage of weight gain per day, specific growth rate and survival rate. Moreover, in any feeding trials, the growth rate monitored at molecular-biological level revealed no correlation between the amount of DNA and the growth rate of the prawn. For histo-pathological study, no any lesion was found in gill and liver tissues of the prawns fed on the rice protein. In conclusion, the rice protein likely demonstrate its potential in replacing soybean meal in the diet of the Giant freshwater prawn.

คำสำคัญ: โปรตีนจากข้าว อาหาร กุ้ง
Keywords: Rice Protein, Feed, Prawn

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวแพทย์สาธารณสุข คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[3] *อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*

บทนำ

ปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามของไทยได้มีการพัฒนาไปในเชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้น มีการปรับการเลี้ยงไปเป็นแบบพัฒนาโดยอาศัยความรู้และเทคโนโลยีต่าง ๆ ซึ่งรวมถึง การจัดการด้านอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการในการบริโภคกุ้งก้ามกรามภายในประเทศที่สูงขึ้น ดังในปี 2540 ที่มีมูลค่าผลผลิตเกือบ 3,000 ล้านบาท (กลุ่มสถิติและสารสนเทศการประมง, 2541) และก็ได้มีการคาดการณ์ถึงแนวโน้มของผลผลิตและความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ

จากการที่กากถั่วเหลืองซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีในอาหารกุ้ง (Akiyama, 1988;New et al., 1995) มีการนำเข้าจากต่างประเทศ ถึงปีละหลายพันล้านบาท นอกจากนี้ในบางครั้งกากถั่วเหลืองที่นำเข้า ก็มีคุณภาพปรวนแปร มีสารพิษจากเชื้อราปะปนอยู่เช่น อะฟลาท็อกซิน และซีราลีโนน ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโต สุขภาพ และอัตรารอดของกุ้ง (Lightner, 1988; Ostrowski-Meissner et al., 1995) ดังนั้นระยะที่ผ่านมาจึงได้มีการทดลองหาวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี ราคาเหมาะสม ที่อาจแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร แม้พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้โปรตีนจากข้าว ที่สกัดมาจากส่วนกลูเตนซึ่งเกาะอยู่รอบโมเลกุลของเม็ดแป้งในเนื้อข้าว ก่อนผ่านขบวนการทำให้เป็นแกรนนูล เพื่อนำมาใช้แทนกากถั่วเหลืองในอาหารสัตว์ (บริษัทฮาบิบ อาคาดี้, 2544) แต่อย่างไรก็ตามจนถึงปัจจุบัน ก็ยังไม่มีผลงานวิจัยที่เคยตีพิมพ์หรือรายงาน ถึงการใช้โปรตีนสกัดจากข้าวในอาหารสัตว์ รวมทั้งในอาหารกุ้ง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้มุ่งที่จะศึกษาผลการใช้โปรตีนสกัดจากข้าวต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด และพยาธิสภาพเนื้อเยื่อของกุ้ง ข้อมูลที่ได้อาจช่วยเพิ่มข้อมูลและโอกาสให้แก่เกษตรกรในการเลือกใช้วัตถุดิบในสูตรอาหารกุ้งก้ามกราม รวมทั้งอาจช่วยส่งเสริมอีกแนวทางหนึ่งในการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของข้าว ที่ประเทศไทยผลิตได้อย่างล้นเหลือในแต่ละปี

ระเบียบวิธีวิจัย

กุ้ง

กุ้งก้ามกรามวัยรุ่นน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม จำนวน 720 ตัว จากแหล่งเดียวกัน ได้รับการปรับสภาพในกระชังขนาด 1.5x2x2 เมตร ในบ่อดิน ที่อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ก่อนทำการทดลองอาหารต่อในกระชังในบ่อเดิม โดยแบ่งกุ้งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 3 ชุด ๆ ละ 60 ตัว ในการทดลอง 3 ซ้ำ ในการศึกษานี้เลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่น 20 ตัวต่อตารางเมตร มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อ 50% รวมทั้งเปลี่ยนกระชังใหม่ในทุก 10 วันตลอดการทดลอง มีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนการเปลี่ยนถ่าย เช่น ปริมาณออกซิเจนและอุณหภูมิ (DO meter, Oakton 335640), pH (pH meter, Precisa pH900), ปริมาณแอมโมเนียและความกระด้าง (Ammonium และ Alkaline Test Kits, Asia Star Lab)

อาหารและการให้อาหาร

โปรตีนสกัดจากส่วนกลูเตนของข้าว ที่ผลิตโดยบริษัท ฮาบิบ อาคาดี้ ใช้แทนกากถั่วเหลืองในอาหารกุ้งเพียง 4 สูตร คือ ที่ระดับโปรตีน 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ (บริษัท นิวตริแคล จำกัด, 2544) โดยมีระดับโปรตีนและพลังงานให้เท่ากันที่ 35 เปอร์เซ็นต์ และ 350 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัมอาหาร ตามลำดับ มีการวิเคราะห์องค์ประกอบของพลังงาน โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ในสูตรอาหาร ตามวิธีของ AOAC (1980) อาหารสูตรที่ 1 ไม่มีโปรตีนจากข้าว อาหารสูตรที่ 2, 3 และ 4 มีโปรตีนจากข้าวแทนกากถั่วเหลือง ที่ระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ให้อาหารกุ้งวันละ 2 ครั้ง เวลา 8:00 และ 16.00 นาฬิกา ที่อัตรา 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวในช่วง 5 สัปดาห์แรก ก่อนเปลี่ยนเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวในช่วง 5 สัปดาห์หลัง

การศึกษาด้านการเจริญเติบโตและจุลพยาธิวิทยา

เก็บข้อมูลด้านน้ำหนักตัว อัตรารอด และปริมาณดีเอ็นเอของกล้ามเนื้อ (Merante et al., 1996) ของกุ้งที่สุ่มมา 10 ตัว จากแต่ละกลุ่มทดลอง ณ วันที่เริ่ม

และสิ้นสุดการทดลอง และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบโดยการวิเคราะห์วาเรียนส์ (ANOVA) และ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งมีการตรวจจุลพยาธิวิทยาเนื้อเยื่อเหงือกและตับที่เตรียมโดยเทคนิคพาราฟิน ย้อมด้วยสี Hematoxylin และ Eosin (H&E)

ผลการทดลอง

กุ้งก้ามกรามวัยรุ่นเมื่อเริ่มการทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 5.03±0.27 กรัม แต่เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้โปรตีนสกัดจากข้าวแทนกากถั่วเหลืองทั้ง 4 สูตร (ตารางที่ 1 และ 2) เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยสูตรที่ 1 ถึง 4 มีน้ำหนักเฉลี่ย 22.8±2.18, 22.22±5.08, 22.25±3.24 และ 21.22±2.75 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) นอกจากนี้ยังพบว่ากุ้งที่กินอาหารสูตรควบคุม หรือ สูตรที่ 1 ซึ่งไม่มีโปรตีนจากข้าวผสม มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด คือ มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 17.80±1.98 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.254 ±0.03 กรัมต่อวัน หรือ เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.43 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย 0.87 และกุ้งที่ใช้โปรตีนจากข้าวแทนในเปอร์เซ็นต์สูงสุดพบว่ามีอัตรารอดเฉลี่ยสูงสุดคือ 76.67±5.03 (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามอาหารทดลองทุกสูตรรวมทั้งสูตรควบคุมไม่ทำให้กุ้งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ไม่ว่าจะเป็นในแง่ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตรารอด (ตารางที่ 3) ส่วนผลการเจริญเติบโตในระดับชีวโมเลกุล พบว่าปริมาณดีเอ็นเอกล้ามเนื้อกุ้งมีค่าสูงสุดในกลุ่มควบคุมที่ 882±260 ไมโครกรัม/กรัมเนื้อ รองลงมาคือกุ้งในกลุ่มที่ใช้โปรตีนจากข้าวในระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าต่ำสุดในกลุ่มที่ใช้โปรตีนจากข้าวในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ที่ 530±272 ไมโครกรัม/กรัมเนื้อ (ตารางที่ 3) นอกจากนี้การศึกษาทางด้านจุลพยาธิวิทยา ก็ไม่พบวิการ เช่น การเกิดเลือดคั่ง การแทรกตัวของกลุ่มเม็ดเลือดขาว หรือการเกิดเนื้อตาย ในเนื้อเยื่อเหงือกและตับของกุ้งในทุกกลุ่มทดลอง(ภาพที่ 1)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองเมื่อกุ้งได้รับอาหารที่ใช้โปรตีนจากข้าวแทนกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่ากุ้งสามารถเจริญได้ดี น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของทุกสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนและพลังงานเท่ากัน พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งในด้านอัตราการเจริญเติบโต และอัตรารอด ข้อมูลในข้างต้นนี้แสดงว่า โปรตีนจากข้าวน่าจะมีความเป็นไปได้ที่ใช้แทนกากถั่วเหลืองในอาหารกุ้งก้ามกราม ทั้งนี้คงเนื่องจากโปรตีนกลูเต็นสกัดจากข้าวมีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกับโปรตีนในกากถั่วเหลือง ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบในรายละเอียดแล้วพบว่า โปรตีนสกัดจากข้าวมีกรดอะมิโน ธรีออนีน ไกลซีน และซีสตีอีน ใกล้เคียงกันกับกากถั่วเหลือง มีกรดอะมิโน ไลซีน ฮิสติดีน ทริปโตเฟน สูงกว่า แต่มีกรดอะมิโน เมทธิโอนีน วาลีน ซีลีน เฟนิลอาลานีน ต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (บริษัท ฮาบิบ อาคาดี้, 2544;New, 1987; Lovell, 1989; Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ความแตกต่างกันของระดับกรดอะมิโนในข้างต้นนี้ อาจยังไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมถึงพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับและเหงือกกุ้งให้เห็นอย่างชัดเจน นอกจากนี้อาจเพราะโปรตีนจากข้าวมีคุณสมบัติที่ดี เช่น มีเถ้า และเยื่อใยต่ำ ย่อยง่าย มีการคงตัวในน้ำสูง และไม่ทำให้รสชาติของอาหารด้อยลง (บริษัท ฮาบิบ อาคาดี้, 2544) ด้วยเหตุผลดังกล่าวน่าจะทำให้ผลการใช้จากโปรตีนจากข้าวไม่แตกต่างกับการใช้กากถั่วเหลืองในทางสถิติ

จากผลการศึกษาของบริษัท นิวตริแคล จำกัด (2544) พบว่าลูกกุ้งกุลาดำอายุ 1 เดือน เมื่อเลี้ยงด้วยโปรตีนจากข้าวแทนกากถั่วเหลืองที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ไปประมาณ 45 วัน พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตและมีอัตรารอดที่สูงกว่ากุ้งกลุ่มควบคุมที่ไม่มีโปรตีนจากข้าวผสมในสูตรอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นผลในเชิงบวกจากการใช้โปรตีนจากข้าวแทนกากถั่วเหลืองในอาหารกุ้งกุลาดำ แม้ผลการใช้โปรตีนจากข้าวใน

กุ้งก้ามกรามในการศึกษานี้ยังไม่แสดงผลต่อการเจริญเติบโตที่ดีกว่าเหมือนในกุ้งกุลาดำ แต่ก็ไม่แตกต่างทางสถิติในกุ้งที่ใช้เฉพาะกากถั่วเหลืองและที่ใช้โปรตีนจากข้าว ตามแนวคิดของผู้วิจัยที่ว่า กุ้งที่เจริญเติบโตได้เร็วจะมีน้ำหนักเนื้อ จำนวนเซลล์กล้ามเนื้อ และหมายรวมไปถึงปริมาณดีเอ็นเอที่เป็นสารพันธุกรรมในนิวเคลียสของเซลล์ ในปริมาณที่มากกว่ากุ้งที่เจริญเติบโตได้ช้า แต่จากผลการทดลองพบว่าปริมาณดีเอ็นเอของกล้ามเนื้อกุ้งในทุกสูตรอาหารไม่สัมพันธ์สอดคล้องกับน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้ง รวมทั้งเปอร์เซ็นต์โปรตีนจากข้าวที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณดีเอ็นเอมีความสัมพันธ์ในแนวทางเดียวกันกับน้ำหนักตัวกุ้งในช่วง 5 สัปดาห์แรกของการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเจริญเติบโตในช่วง 5 สัปดาห์แรกเป็นการเพิ่มทั้งปริมาณเซลล์กล้ามเนื้อและน้ำหนักกุ้ง แต่การเจริญเติบโตในช่วง 5 สัปดาห์หลังกุ้งอาจเพิ่มน้ำหนักตัวจากการเพิ่มขนาดของใยกล้ามเนื้อไม่ใช่จากการเพิ่มปริมาณเซลล์ ปริมาณนิวเคลียส และดีเอ็นเอในกล้ามเนื้อ ดังนั้นผลการตรวจการเจริญเติบโตระดับซีโมเลกุล ที่ดูจากปริมาณดีเอ็นเอน่าจะนำมาใช้เปรียบเทียบการเจริญเติบโตในกุ้งก้ามกรามที่มีอายุไม่เกิน 3 เดือน ส่วนการวัดการเจริญเติบโตทางอ้อมในกุ้งควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เป็นต้นว่าการวัดจากสัดส่วนน้ำย่อยไกลโคไลติก เช่น lactate dehlydrogenase และ pyruvate kinase ต่อหน่วยดีเอ็นเอ ที่พบว่าสามารถวัดการเจริญเติบโตทางอ้อมในปลาได้ (Pelletier et al., 1995)

ด้วยข้อจำกัดทางงบประมาณและการอิงตามแนวทางการวิจัยในเบื้องต้นในกุ้งกุลาดำของ บริษัท นิวตริแคล จำกัด ทำให้ผู้วิจัยทำการศึกษาครอบคลุมเพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งของกุ้งและบางระดับของโปรตีนจากข้าว (0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์) แม้ผลการศึกษานี้แสดงว่าโปรตีนสกัดจากข้าวน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะใช้แทนกากถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามก็ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในแง่ต่าง ๆ เช่น เปอร์เซ็นต์สูงสุดที่ใช้แทนกากถั่วเหลือง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากข้าวของกุ้ง สารต่อต้านการเจริญเติบโต (anti-nutritional factors) เช่น anti-trypsin, phytic acid และ thiaminase (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) รวมถึงการพัฒนาขั้นตอนกรรมวิธีการสกัดโปรตีนจากข้าว

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาวิจัยนี้ที่ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติระหว่างกุ้งกลุ่มที่ใช้เฉพาะกากถั่วเหลือง และกลุ่มที่ใช้โปรตีนจากข้าว ทั้งในแง่อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตรารอด ปริมาณดีเอ็นเอ รวมทั้งผลด้านจุลพยาธิวิทยา จึงชี้ให้เห็นว่าโปรตีนจากข้าวน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะใช้แทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารกุ้งก้ามกราม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย ประจำปีงบประมาณเงินรายได้ 2545

เอกสารอ้างอิง (References)

กลุ่มสถิติและสารสนเทศการประมง. 2541. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ปี พ.ศ. 2538. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เอกสารฉบับที่ 9/2541.

บริษัท นิวตริแคล จำกัด. 2544. **การทดลองโปรตีนจากข้าว (Rice Protein) ในกุ้งกุลาดำวัยรุ่น.** กรุงเทพฯ (เอกสารเผยแพร่ภายใน)

บริษัท ชาบิบ อาคาดี้ จำกัด. 2544. Rice Protein Concentrate (Rice Gluten). Karachi, Pakistan. (Internal document)

AOAC. 1980. **Offficial methods of Analysis.** 12th ed. Washington, D.C.

Akiyama, D.M. 1988. **Soybean meal utilization by marine shrimp.** Proc. AOCS World Congress on Veg. Protein Utilization in Human Food and Animal Feedstuffs, Singapore, 2-7 October 1988.

Hertrampf, J.W. and Piedad-Pascual, F. 2000. **Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds.** Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Lightner, R. D.V. 1988. Aflatoxicosis of penaeid shrimp. In: C.J. Sinderman and D.B. Lightner (Ed.). **Disease Diagnosis and Control in North American Marine Aquaculture**. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

Lovell, R.T. 1989. Diet and fish husbandry. In: J.E. Halver (ed.). **Fish Nutrition**. London, England: Academic Press Inc.

Merante, F., Raha, S., Reed, J.K. and Proteau, G. 1996. The Simultaneous isolation of RNA and DNA from Tissues and Cultured Cells. In: A.J. Harwood (Ed.). **Basic DNA and RNA Protocols**. New Jersey, USA:Humana Press.

New, M.B. 1987. **Feed and Feeding of Fish and Shrimp**. Rome, Italy: United Nations Development Program, Food and Agriculture Organization of The United Nations.

New, B.M., Tacon, G.J.A. and Csavas, I. 1995. **Farm-made aquafeeds**. Rome, Italy: FAO Fisheries Technical Paper. No 343.

Ostrowski Meissner, H.T., LeaMaster, B.R., Duerr, E.O. Walsh, W.A. 1995. Sensitivity of the Pacific white shrimp, Penaeus vannamei, to aflatoxin B1. **Aquaculture** 131: 155-164.

Pelletier, D., Blier, P.U., Dutil, Jean-Denis and Guderley, H. 1995. How should enzyme activities be used in fish growth studies? **J. Experiment. Biol.** 198: 1493-1497.

ตารางที่ 1 สัดส่วนของวัตถุดิบในสูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนะของสูตรอาหาร

วัตถุดิบ	ปริมาณโปรตีนจากข้าวแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร			
	0% (สูตรที่ 1)	10% (สูตรที่ 2)	20% (สูตรที่ 3)	30% (สูตรที่ 4)
ปลาป่น	25	25	25	25
เปลือกกุ้งป่น	10	10	10	10
ปลาหมึกป่น	4.5	4.53	4.57	4.61
กากถั่วเหลือง	30	27	24	21
โปรตีนสกัดจากข้าว	0	3	6	9
ปลายข้าว	12	12	12	12
รำ	10	10	10	10
น้ำมันปลา	2.8	2.8	2.8	2.8
น้ำมันพืช	0	0.18	0.36	0.54
สารเหนียว	2	2	2	2
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	2	2	2	2
ไวตามิน-แร่ธาตุรวม	1	1	1	1
หินฝุ่น	0.7	0.49	0.27	0.05
ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะ				
โปรตีน (%)	34.92	35.01	34.74	34.86
ไขมัน (%)	6.38	6.47	6.64	6.71
เยื่อใย (%)	2.77	2.65	2.52	2.44
เถ้า (%)	12.82	12.67	12.48	12.42
ความชื้น (%)	8.52	8.19	8.21	8.03

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบหลักในสูตรอาหาร

วัตถุดิบ	คุณค่าทางโภชนะ (%)			
	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า
ปลาป่น	55.02	6.83	0.9	20.12
เปลือกกุ้งป่น	37.62	3.1	4.7	35.2
ปลาหมึกป่น	46.51	15.3	2.2	8.4
กากถั่วเหลือง	43.81	1.99	5.35	7.86
โปรตีนสกัดจากข้าว	43.27	7.56	1.63	3.08
ปลายข้าว	6.8	0.68	0.08	0.61
รำ	13.93	14.81	4.01	7.18

ตารางที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดของกุ้งที่เลี้ยงด้วยโปรตีนจากข้าวแทนกากถั่วเหลือง

	ปริมาณโปรตีนจากข้าวแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร			
	0% (สูตรที่ 1)	10% (สูตรที่ 2)	20% (สูตรที่ 3)	30% (สูตรที่ 4)
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	5.03±0.27	5.03±0.27	5.03±0.27	5.03±0.27
น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม)	22.83±2.18	22.22±5.08	22.25±3.24	21.22±2.75
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม)	17.80±1.98	17.19±5.16	17.37±2.77	16.40±2.08
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (กรัม/วัน)	0.25±0.03	0.25±0.07	0.25±0.04	0.23±0.03
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (%)	1.43	1.43	1.51	1.43
อัตราการเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (%)	0.87	0.86	0.86	0.83
ปริมาณดีเอ็นเอ (ไมโครกรัม/กรัมเนื้อ)	882±260	530±272	540±126	800±139
อัตรารอด (%)	67.33±3.51	73±4.36	71.33±5.51	76.67±5.03

ภาพที่ 1 จุลพยาธิวิทยาปกติเนื้อเยื่อเหงือก (A) และตับ (B) ของกุ้งที่กินโปรตีนจากข้าว