อัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมในอาหารต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius, 1798)

มนทกานติ ท้ามติ้น* สรายุทธ อ่อนสนิท สุพิศ ทองรอด และ สิริพร ลือชัย ชัยกุล

สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง

บทคัดย่อ

ศึกษาอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ที่น้ำหนักเริ่มต้น 0.36-0.37 กรัมในกระชังที่แขวนในบ่อดินเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ชุดละ 3 ซ้ำ ผลิตอาหารทดลอง 4 สูตร มีแป้งข้าวเหนียวโม่น้ำเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตหลัก องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของอาหารสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 47.8, 42.4, 34.5 และ 22.5 % และโปรตีนเท่ากับ 32.4, 35.5, 40.2 และ 49.1 % ตามลำดับ ระดับไขมันมีค่าเท่ากับ 4.1-5.5 % ระดับพลังงานรวมมีค่าอยู่ในช่วง 444-454 กิโลแคลอรี/น้ำหนักอาหารแห้ง 100 กรัม ค่าพลังงานต่อโปรตีนของอาหารสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 14, 12.6, 11.1 และ 9 กิโลแคลอรี/กรัมโปรตีน ตามลำดับ เปรียบเทียบกับอาหารสำเร็จรูปที่ขายในท้องตลาดเป็นสูตรที่ 5 (สูตรควบคุม) มีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต 44.1 และ 36.6 % ตามลำดับ ระดับพลังงานรวม 470 กิโลแคลอรี/น้ำหนักอาหารแห้ง 100 กรัม (10.6 กิโลแคลอรี/กรัมโปรตีน) พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 สูตร มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการรอดตายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตรที่ 1-4 มีน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 10.2-10.9 กรัมและ 2684-2915 % ตามลำดับ อัตราการรอดตาย 42-56 % ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีองค์ประกอบทางเคมีด้านสัดส่วนน้ำหนักแห้ง (23.3-24.7 %) ไขมัน (2.5-2.8 %) คาร์โบไฮเดรต (6.0-7.5 %) และพลังงานรวม (450-455 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีโปรตีนแตกต่างกัน ($p<0.05$) ทั้งนี้กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 4 และอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดมีโปรตีนเท่ากับ 70.9 % และ 70.6 % ตามลำดับและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีค่ามากกว่ากุ้งสูตร 1 (69.0 %) และ 3 (69.8 %) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กุ้งสูตร 2 มีโปรตีน69.8 % และแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกุ้งทุกสูตร ($p>0.05$)

สรุปได้ว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในบ่อดินสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตในช่วงกว้างตั้งแต่ 22 ถึง 48 % เพื่อเป็นแหล่งพลังงานโดยไม่ทำให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายแตกต่างกันโดยระดับคาร์โบไฮเดรตที่แนะนำไม่ควรมากกว่า 42.4 % และมีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 35.5 %

คำสำคัญ : สัดส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรต กุ้งกุลาดำ

* ผู้รับผิดชอบ: ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี ต.แหลมผักเบี้ย อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี ๗๖๑๐๐ โทร. 032 478 210. e-mail: mtamtin@hotmail.com

Optimal Protein to Carbohydrate Ratio in Feed for Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius, 1798)

Montakan Tamtin* Sarayut Onsanit Supis Thongrod and Siriporn Luchai Chaiyakul

Coastal Aquatic Feed Research Institute

Abstract

Effect of various dietary protein to carbohydrate ratios on growth and survival rate of black tiger shrimp were determined by rearing 0.36-0.37 g initial weight juvenile in cages hanging in earthen pond for 12 weeks. The experiment comprised of 5 treatments with 3 replications each. Four formulated diets 1-4 were contained glutinous rice flour (wet milling) as major dietary carbohydrate source at 47.8, 42.4, 34.5 and 22.5 %, respectively and diet contained protein levels of 32.4, 35.5, 40.2 and 49.1 %. Lipid and gross energy of formulated diet were varied between 4.1-5.5 % and 444-454 Kcal/100 g dry feed, respectively. Gross energy to protein ratio of diet 1, 2, 3 and 4 were 14, 12.6, 11.1 and 9 Kcal/g protein, respectively. Control treatment (diet 5) commercial feed, which contained 44.1 % protein, 36.6 % carbohydrate and energy value of 470 Kcal/100 g dry feed (10.6 Kcal/g protein).

Result showed that dietary protein to carbohydrate ratios had no effect on average mean body weight, weight gain and survival rate of shrimps ($p>0.05$). Shrimps fed with 1-4 formulated diets had average mean body weight and weight gain varying between 10.2-10.9 g and 2684-2915 %, respectively. Survival rate were 42-56 %. Biochemical composition of whole shrimps at the end of experiment showed that shrimps carcass of formulated diets were not significance difference in dry matter (23.3-24.7 %), lipid (2.5-2.8 %), carbohydrate (6.0-7.5 %) and energy values (450-455 Kcal/100 g dry matter) ($p>0.05$), while there were significant difference in protein ($p<0.05$). Protein of shrimps fed with diet 4 and fed with commercial feed, which were 70.9 % and 70.6 %, respectively, were not significant difference ($p>0.05$). However, their protein content were significantly higher than those of shrimps fed with diet 1 (69.0 %) and diet 3 (69.8 %) ($p<0.05$). Shrimps fed with diet 2 had protein content of 69.8 % which was not significant difference from other diets ($p>0.05$).

It can be concluded that *P. monodon* cultured in earthen pond can utilized dietary carbohydrate varying in wide range between 22-48 % for protein sparing energy without significance

effect on growth, survival rate and proportion of protein in shrimp tissue. The recommended level of dietary carbohydrate is not higher than 42.4 % and dietary protein is not less than 35.5 %.

Key words : Protein and carbohydrate ratio, *Penaeus monodon*

---

*Corresponding author : Phetchaburi Coastal Aquatic Feed Research Unit, Laem Pakbia Sub-district, Ban Laem District, Phetchaburi Province 76100 Tel. 032 478 210 e-mail : mtamtin@hotmail.com

คำนำ

โปรตีนเป็นสารอาหารหลักที่ใช้ในการเจริญเติบโตในกุ้งและเป็นองค์ประกอบของอาหารกุ้งที่มีราคาสูงที่สุด โดยต้นทุนหลักของการเลี้ยงกุ้งคือค่าอาหารซึ่งคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 40 % ของต้นทุนการผลิต ทั้งนี้กุ้งกุลาดำมีความต้องการโปรตีนในอาหารอยู่ที่ 35-50 % (มะลิ, 2531) ขึ้นกับชนิดของสารอาหารโปรตีน อายุ และสภาพแวดล้อม(D'Abramo and Sheen, 1994) การสร้างสูตรอาหารให้มีความสมดุลกันระหว่างสารอาหารโปรตีนและสารอาหารที่ให้พลังงาน จะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหาร เนื่องจากหากสัตว์น้ำได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอ ก็จะนำโปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารราคาแพงไปใช้ทดแทนพลังงาน ทำให้สัตว์น้ำโตช้า (สุพิศ, 2534)

ทั้งนี้ระดับพลังงานรวมที่เหมาะสมต่อกุ้งกุลาดำมีค่าประมาณ 330 กิโลแคลอรีต่ออาหารแห้ง 100 กรัมที่ระดับโปรตีน 40 % (8.3 กิโลแคลอรี/กรัมโปรตีน) (Bautista, 1986) ถึง 412.60 กิโลแคลอรีต่ออาหารแห้ง 100 กรัมที่ระดับโปรตีน 46 % (9 กิโลแคลอรี/ กรัมโปรตีน) (Hajra *et al*., 1988) ถึงแม้ว่าทั้งไขมันและคาร์โบไฮเดรตต่างเป็นสารอาหารกลุ่มที่ให้พลังงานแต่การนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยสัตว์น้ำแต่ละชนิดแตกต่างกัน ในกุ้งกุลาดำนั้นพบว่าใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานได้ไม่ดี ถึงแม้ว่าไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงถึง 8-9 กิโลแคลอรีต่อกรัมก็ตาม โดยระดับไขมันที่เหมาะสมในอาหารกุ้งกุลาดำมีค่าเท่ากับ 5-10 % เท่านั้น (Bautista, 1986; Hajra *et al*., 1988) และไม่ควรเติมไขมันในอาหารสูงกว่า 15 % (D'Abramo, 1990)

กุ้งไม่สามารถใช้ไขมันปริมาณสูงในอาหาร แต่สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นแหล่งพลังงานราคาถูกได้ดี อีกทั้งชนิดของคาร์โบไฮเดรตมีผลต่อการช่วยประหยัดโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต (protein sparing effect) ทั้งนี้ Alava and Pascual (1987) รายงานว่ากุ้งมีการกักเก็บโปรตีนในเนื้อสูงขึ้นเมื่อใช้น้ำตาลชนิดทรีฮาโลส และซูโครสเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่ากุ้งใช้คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนเพื่อการเจริญเติบโตได้ดีกว่าน้ำตาลกลูโคสหรือซูโครส (Bautista, 1986 ; Shiau and Peng, 1992) ผลจากการศึกษาโดย Shiau and Peng (1992) สามารถลดระดับโปรตีนในอาหารกุ้งได้ถึง 30 % เมื่อใช้แป้งข้าวโพด (cornstarch) ผสมในอาหาร 30 % เป็นแหล่งพลังงานหลัก นอกจากนี้ผลการศึกษาของมนทกานติและคณะ (2551ก) พบว่ากุ้งกุลาดำสามารถใช้แป้งชนิดต่าง ๆ เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตได้โดยไม่ทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างกัน

ดังนั้น การศึกษาสัดส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่เหมาะสม โดยใช้แป้งชนิดที่ผลิตได้ในประเทศเพื่อลดระดับโปรตีนในอาหารและใช้โปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนอาหาร นอกจากนี้การศึกษาในระบบการเลี้ยงในกระชังแขวนไว้ในบ่อดิน ซึ่งมีสารอาหารที่แพร่กระจายมาจากดินและมีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับการเลี้ยงจริง จะทำให้ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปปรับใช้ได้จริง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำ
2. เพื่อทราบผลของอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีของกุ้งกุลาดำ

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การวางแผนและการทดลอง

1.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยกำหนดอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.68, 0.84, 1.16 และ 2.18 ตามลำดับ ใช้ปลาป่นไทย หัวกุ้งบด หมึกบดและกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ผสมกันในสัดส่วน 4.3 : 1.2 : 1 : 3.2 มีแป้งข้าวเหนียวโม่น้ำและปลายข้าวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต (มนทกานติและคณะ, 2551ก) ควบคุมระดับพลังงานรวมให้มีค่าใกล้เคียงกันโดยปรับปริมาณน้ำมันในอาหารซึ่งมีน้ำมันปลาและน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งไขมันหลักให้มีปริมาณลดลงตามปริมาณปลาป่นที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกับอาหารทดลองสูตรที่ 5 อาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด (กลุ่มควบคุม) แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ (กระชัง)

1.2 นำลูกกุ้งกุลาดำระยะ 1 เดือนจากโรงเพาะฟักในจังหวัดชลบุรี จำนวน 20,000 ตัวมาอนุบาลด้วยอาร์ทีเมียและอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด ในกระชังขนาด 10 x 10 x 1.5 เมตรแขวนไว้ในบ่อดินเป็นเวลาประมาณ 8 สัปดาห์

1.3 สุ่มลูกกุ้งลงทดลองในกระชังทำด้วยอวนมุ้งเขียวขนาดกว้าง x ยาว x ลึกเท่ากับ 1 x 2 x 1.5 เมตร มีอัตราความหนาแน่น 70 ตัวต่อกระชัง และแขวนไว้ในบ่อดินจำนวน 15 ลูก มีวิธีการเตรียมบ่อ การเตรียมน้ำและการวางระบบอากาศภายในบ่อตามวิธีของมนทกานติและคณะ (2551ข) เปลี่ยนกระชังทุกเดือนหรือตามความจำเป็น ระหว่างการทดลองบันทึกคุณภาพน้ำที่สำคัญตลอดช่วงการทดลองสัปดาห์ละครั้ง ได้แก่ ไนไตรท์ แอมโมเนียรวม ความเป็นกรดด่าง (pH) ความเป็นด่าง ความเค็ม ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิน้ำ

1.4 ให้อาหารวันละ 4 มื้อ (6.30, 11.30, 16.30 และ 21.30 น.) ใส่ในยอขนาด 0.8 ตารางเมตรที่วางลงไปในกระชัง อัตราการให้อาหาร 15 % โดยน้ำหนัก ปรับปริมาณอาหารและขนาดของอาหารตามขนาดและอายุกุ้ง

2. การรวบรวมข้อมูล

2.1 จดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ เก็บอาหารเหลือไปคำนวณหาน้ำหนักอาหารที่กุ้งกินจริงเพื่อคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และบันทึกการลอกคราบรวมทั้งสุขภาพกุ้ง

2.2 ชั่งน้ำหนักรวมกุ้งและนับจำนวนกุ้งทุก 2 สัปดาห์และคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย สิ้นสุดการทดลองเมื่อครบ 12 สัปดาห์

2.3 เก็บตัวอย่างกุ้งและอาหารทั้ง 5 สูตร ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบและกรดไขมัน วิเคราะห์โปรตีนด้วยเครื่อง Truspec CN Carbon/Nitrogen Determination (LECO) วิเคราะห์ไขมันด้วยเครื่อง Fat Extractor TFE 2000 (LECO) วิเคราะห์เถ้า ความชื้นและไฟเบอร์ด้วยวิธี AOAC (1980) และวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่อง GC (Gas Chromatography) รุ่น Agilent 6890N

3. อาหารทดลอง

3.1 แหล่งและปริมาณคาร์โบไฮเดรต

แหล่งคาร์โบไฮเดรตหลักในการศึกษาครั้งนี้คือแป้งข้าวเหนียวโม่น้ำ ซึ่งปริมาณการใช้ในแต่ละสูตรอาหารคำนวณมาจากการแปรผันปริมาณแป้งข้าวเหนียวโม่น้ำในอาหารและสัดส่วนผกผันกับปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร เมื่อรวมกับปลายข้าว สูตรอาหารที่ 1-4 จึงมีปริมาณแป้งในอาหารเท่ากับ 37.8, 28.9, 20 และ 9 % ตามลำดับ

3.2 การผลิตอาหารทดลอง

ผลิตอาหารทดลองมีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 1 จำนวน 4 สูตร มีวิธีการทำอาหารตามมนทกานติและคณะ (2551ข) เก็บรักษาอาหารที่ผลิตได้ในตู้เย็นอุณหภูมิ -20°C ตลอดช่วงการทดลอง อาหารส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

3.3 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง

ผลวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร แสดงในตารางที่ 2 และ 3 อาหารผลิตเองสูตรที่ 1-4 มีระดับโปรตีนเท่ากับ 32.4, 35.5, 40.2 และ 49.1 % และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 47.8, 42.4, 34.5 และ 22.5 % ตามลำดับ ระดับไขมันมีค่าเท่ากับ 4.1-5.5 % ระดับพลังงานรวมมีค่าอยู่ในช่วง 444-454 กิโลแคลอรี/น้ำหนักอาหารแห้ง 100 กรัม ค่าพลังงานต่อโปรตีนของอาหารสูตรที่ 1-4 เท่ากับ 14, 12.6, 11.1 และ 9 กิโลแคลอรี/กรัมโปรตีน ตามลำดับ อาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต 44.1 และ 36.6 % ตามลำดับ ระดับพลังงานรวม 470 กิโลแคลอรี/น้ำหนักอาหารแห้ง 100 กรัม (10.6 กิโลแคลอรี/กรัมโปรตีน)

อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีองค์ประกอบกรดไขมันใกล้เคียงกัน โดยมีกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 (total n-3) 11.2-11.7 %, กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (total n-3 HUFA) 9.1-9.5 %, กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 6 (total

n-6) 24.5-25.9 % และสัดส่วนกรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 (n-3/n-6) 0.44-0.47 ตามลำดับ อาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดมีค่ากรดไขมันดังกล่าวสูงกว่าที่มีอยู่ในอาหารทดลองผลิตเอง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของวัตถุดิบในอาหารทดลองที่มีสัดส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารต่าง ๆ กัน จำนวน 4 สูตร

วัสดุอาหาร	ปริมาณ (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งอาหาร)				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
ปลาป่นไทย (%60 P)	17.50	22.00	26.00	32.00	↑
หัวกุ้งบด	4.71	5.92	7.00	8.61	
หมึกบด	4.04	5.08	6.00	7.39	
กากถั่วเหลือง	12.79	16.08	19.00	23.39	
แกลบ	4.08	3.50	4.00	2.18	
รำ	6.00	6.00	6.00	6.00	**อาหาร**
หวีทกลูเท่น	5.00	5.00	5.00	5.00	**สำเร็จรูปที่**
แป้งข้าวเหนียวโม่น้ำ	32.84	23.92	15.00	4.00	**วางขายใน**
น้ำมันปลา	1.90	1.50	1.12	0.70	**ท้องตลาด**
น้ำมันปาล์ม	0.64	0.50	0.38	0.23	↓
วิตามินรวม*	2.00	2.00	2.00	2.00	
แร่ธาตุรวม**	2.00	2.00	2.00	2.00	
วิตามินซีโมโนฟอสเฟต99	0.48	0.48	0.48	0.48	
บีเอชที	0.02	0.02	0.02	0.02	
เลซิทิน	1.00	1.00	1.00	1.00	
ปลายข้าวหัก	5.00	5.00	5.00	5.00	
ราคา(บาท/กิโลกรัม)	44.50	45.66	49.97	51.82	

หมายเหตุ * วิตามินรวมประกอบด้วยวิตามินตาม Conklin (1997) ในปริมาณกรัมต่อกิโลกรัมวิตามินรวม thiamin (B1) 45, riboflavin (B2) 40.32, nicotinic acid 73.4, Ca-pantothenate (B5) 48, inositol 196, biotin 1, folic acid 3.36, cyanocobalamin (B12) 0.01, menadion (K) 26.56, Vit A/D3 4.6, BHT 2 และ cellulose 559.75

** แร่ธาตุรวมประกอบด้วยแร่ธาตุดังต่อไปนี้ในอัตราส่วน KH_2PO_4 1.0; $CaHPO_4.2H_2O$ 1.0; $NaH_2PO_4.2H_2O$ 1.5; KCl 0.5 (Davis and Lawrence, 1997)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

สูตรที่	ความชื้น	องค์ประกอบ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)					พลังงานรวม
	%	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	(Kcal/100 g)
1	6.9	32.4	4.1	4.0	11.8	47.8	454
2	6.7	35.5	4.2	3.8	14.1	42.4	448
3	7.8	40.2	4.7	4.3	16.3	34.5	447
4	8.6	49.1	5.5	4.0	19.0	22.5	444
5	5.0	44.1	5.8	2.2	11.3	36.6	470
สูตรที่	**องค์ประกอบ (%as fed)**						**พลังงานรวม**
	ความชื้น	**โปรตีน**	**ไขมัน**	**เยื่อใย**	**เถ้า**	**คาร์โบไฮเดรต**	**(Kcal/100 g)**
1	6.9	30.1	3.8	3.7	11.0	44.5	423
2	6.7	33.1	3.9	3.6	13.1	39.6	418
3	7.8	37.1	4.4	3.9	15.0	31.8	412
4	8.6	44.8	5.0	3.7	17.3	20.5	406
5	5.0	41.8	5.5	2.1	10.7	34.8	447

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนของอาหารที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

กรดอะมิโน	สูตรอาหาร					ปริมาณที่แนะนำใน
(% โปรตีน)	1	2	3	4	5	กุ้งกุลาดำ*
กรดอะมิโนจำเป็น						
L-Arginine	5.36	5.15	5.24	5.19	4.78	5.8
L-Histidine	2.13	2.19	2.30	2.40	2.14	2.1
L-Isoleucine	3.67	3.36	3.36	3.41	3.10	3.4
L-Leucine	7.45	7.18	7.22	7.67	8.38	5.4
L-Lysine	7.03	6.92	6.74	7.01	5.86	5.3
L-Methionine	1.48	1.39	1.39	1.45	1.25	2.4
L-Phenylalanine	4.54	4.14	4.09	3.95	4.08	4.0
L-Threonine	3.54	3.46	3.30	3.33	2.99	3.6
L-Valine	4.28	3.95	3.84	3.81	3.78	4.0
กรดอะมิโนไม่จำเป็น						
L-Aspartic acid	8.98	8.80	8.65	8.89	7.86	
L-Alanine	4.70	4.45	4.40	4.49	5.04	
L-Serine	4.63	4.43	4.19	4.23	4.13	
L-Glutamic acid	19.71	17.56	16.79	16.35	16.86	
L-Proline	6.16	5.75	5.26	5.27	6.60	
Glycine	4.60	4.33	4.31	4.42	4.87	
L-Cystine	0.69	0.58	0.50	0.63	0.51	
L-Tyrosine	2.26	1.94	2.12	2.18	1.73	

* Akiyama *et al*. (1991)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน (% area) ของอาหารที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

Fatty acid	สูตรอาหาร				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
C 14:0	2.24	2.29	2.34	2.28	2.24
C 15:0	0.52	0.54	0.56	0.62	0.57
C 16:0	24.14	23.65	23.66	23.52	20.50
C 16:1	1.94	1.89	1.90	1.86	2.39
C 17:0	0.75	0.78	0.85	0.98	0.86
C 17:1	0.26	0.26	0.28	0.24	0.33
C 18:0	5.78	5.50	6.04	6.61	5.90
C 18:1n-9t	0.28	0.71	0.38	0.26	
C 18:1n-9c	20.53	21.41	21.81	19.43	16.54
C 18:1n-7	2.16	2.10	2.06	2.07	2.31
C 18:2n-6t	0.41	0.45	0.39	0.38	0.23
C 18:2n-6c	21.84	20.75	21.26	22.24	24.47
C 18:3n-6				0.25	0.23
C 18:3n-3	1.90	1.82	1.83	2.07	2.56
C 18:4n-3	0.31	0.29	0.27	0.21	0.36
C 20:0	0.49	0.54	0.57	0.58	0.42
C 20:1	0.96	0.89	0.81	0.74	1.41
C 20:2n-6	1.48	2.00	1.61	1.24	0.99
C 20:3n-6	0.31	0.35	0.30	0.28	0.68
C 20:4n-6	0.94	0.96	1.09	1.30	1.21
C 20:4n-3					0.23
C 20:5n-3	2.19	2.10	2.02	1.91	3.02
C 22:0	0.24	0.24	0.28	0.36	0.29
C 22:1n-9	0.28	0.24			0.45
C 23:0	0.31	0.42	0.32	0.28	0.35
C 22:4n-6				0.18	
C 22:5n-3	0.54	0.54	0.57	0.61	0.62
C 24:0	0.87	0.93	0.93	0.85	1.22
C 22:6n-3	6.77	6.54	6.49	6.61	8.00
Total n-3	**11.72**	**11.29**	**11.18**	**11.40**	**14.80**
n-3 HUFA	**9.51**	**9.18**	**9.08**	**9.12**	**11.87**
Total n-6	**25.00**	**24.51**	**24.65**	**25.86**	**27.80**
n-3/n-6	**0.47**	**0.46**	**0.45**	**0.44**	**0.53**

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักและอัตราการรอดตายด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองตามวิธีของ Tukey' HSD test (Sokal and Rohlf, 1981)

ผลการทดลอง

1. ผลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ระหว่างการทดลอง คุณสมบัติน้ำที่สำคัญมีค่าดังนี้ ไนไตรท์ 0.001-0.021 มก./ล. แอมโมเนียรวม 0.046-0.170 มก./ล. pH 8.14-8.68 แอลคาไลนิตี้ 125-230 มก./ล. ความเค็ม 14-36 ส่วนในพัน (ค่าเฉลี่ย 23±8 ส่วนในพัน) ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) 5.6-7.7 มก./ล. (ค่าเฉลี่ย 7.6±0.6 มก./ล.) อุณหภูมิน้ำเวลา 16.00 น. 27-35 ^{o}C (ค่าเฉลี่ย 32 ^{o}C) ซึ่งมีค่าเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งทดลอง จากการสังเกตสุขภาพกุ้งระหว่างการเลี้ยงพบว่ากุ้งมีสุขภาพดี มีการลอกคราบปรกติและกินอาหารดี โดยมีอาหารเต็มลำไส้

ผลการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นเวลา 12 สัปดาห์พบว่าน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเพิ่มและอัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตรที่ 1-4 มีน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 10.2-10.9 กรัมและ 2684-2915 % ตามลำดับ อัตราการรอดตาย 42-56 % (ตารางที่ 5 ภาพที่ 1 และ 2) ในขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดมีน้ำหนักเฉลี่ย 11.7 กรัมและอัตราการรอดตาย 50 % ค่า FCR และ PER ระหว่างอาหารทั้ง 4 สูตรและอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2. ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกุ้งกุลาดำ

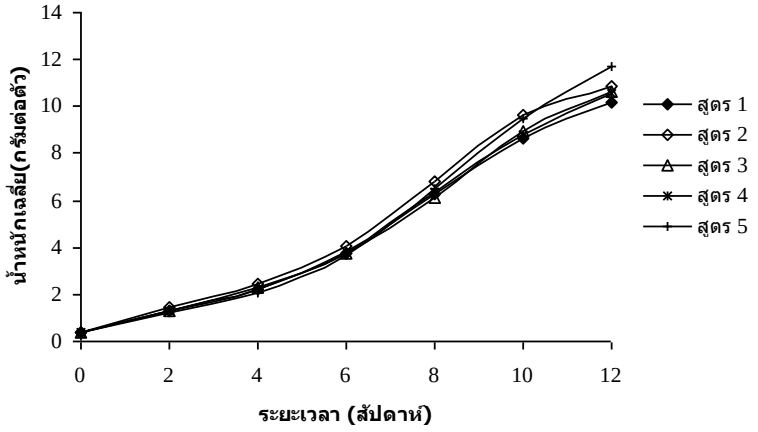
ผลวิเคราะห์ทางเคมีของกุ้งกุลาดำหลังจากเลี้ยงด้วยอาหารทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์แสดงในตารางที่ 6 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีองค์ประกอบทางเคมีด้านสัดส่วนน้ำหนักแห้ง (23.3-24.7 %) ไขมัน (2.5-2.8 %) คาร์โบไฮเดรต (6.0-7.5 %) และพลังงานรวม (450-455 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีโปรตีน (69.0-70.9 %) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดมีคาร์โบไฮเดรต (5.2 %) สะสมน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีไขมัน (3.3 %) มากกว่ากุ้งสูตรที่ 4 ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกุ้งสูตรที่ 1-3 ส่วนพลังงานรวมของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด (466 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม) มีค่ามากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

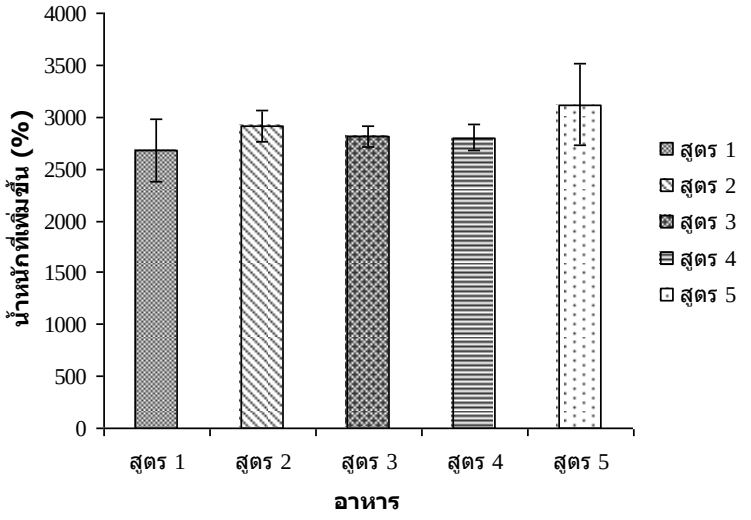
สำหรับการสะสมโปรตีนในกุ้งทดลองทั้ง 4 สูตรนั้น พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 4 มีระดับโปรตีน (70.9 %) ไม่แตกต่างจากกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด (70.6 %) และมีค่ามากกว่ากุ้งสูตร 1 (69.0 %) และ 3 (69.8 %) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกุ้งสูตร 2 (69.8 %) ($p>0.05$)

ตารางที่ 5 ผลการเจริญเติบโตและอัตรารอดของกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารต่าง ๆ กันจำนวน 4 สูตร และอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด เป็นเวลานาน12 สัปดาห์ ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากจำนวน 3 ซ้ำ ($\bar{x}$ ±SD)

สูตรที่	น้ำหนัก (กรัมต่อตัว)		อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเพิ่ม	อัตราการรอดตาย	อัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
	เริ่มต้น	12 สัปดาห์	(%)	(%)	FCR (as fed)	PER (as fed)
1	0.37±0.0	10.19±1.17	2683.97±302.90	49.52±4.59	1.0±0.2	3.4±0.7
2	0.36±0.0	10.87±0.49	2915.15±155.84	46.43±1.01	1.2±0.3	2.6±0.6
3	0.37±0.0	10.63±0.28	2806.27±97.68	42.14±5.05	1.0±0.2	2.8±0.6
4	0.36±0.0	10.58±0.41	2798.50±124.46	56.19±5.02	0.9±0.4	2.7±1.0
5	0.36±0.0	11.70±1.36	3116.15±390.89	50.00±6.55	0.7±0.2	3.5±1.0
ANOVA *p*	**0.631**	**0.431**	**0.408**	**0.120**	**0.597**	**0.378**
F	**0.664**	**1.07**	**1.13**	**2.56**	**0.729**	**1.209**



ภาพที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม) ของกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตต่าง ๆ กัน 4 สูตรและอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดเป็นเวลานาน 12 สัปดาห์



ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตเป็นน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%) ของกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตต่าง ๆ กัน 4 สูตรและอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดเป็นเวลานาน 12 สัปดาห์

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารต่างกันจำนวน 4 สูตรและอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดเป็นเวลานาน 12 สัปดาห์

สูตร	น้ำหนักแห้ง	องค์ประกอบ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)					พลังงานรวม
	%	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	(Kcal/100 กรัม)
1	23.4±0.02 [a]	69.0±0.45 [b]	2.8±0.13 [ab]	7.4±0.09 [a]	13.4±0.13 [a]	7.5±0.35 [a]	454±1.6 [b]
2	24.7±0.26 [a]	69.8±0.30 [ab]	2.9±0.15 [ab]	7.2±0.12 [a]	13.7±0.01 [a]	6.5±0.26 [a]	450±0.8 [b]
3	23.9±1.36 [a]	69.4±0.54 [b]	2.8±0.06 [ab]	7.0±0.30 [a]	13.8±0.08 [a]	7.1±0.69 [a]	452±1.0 [b]
4	23.3±4.26 [a]	70.9±0.24 [a]	2.5±0.07 [b]	7.0±0.37 [a]	13.7±0.00 [a]	6.0±0.68 [a]	455±1.9 [b]
5	26.6±0.77 [a]	70.6±0.14 [a]	3.3±0.00 [a]	7.4±0.21 [a]	13.6±0.28 [a]	5.2±0.35 [b]	466±1.5 [a]
ANOVA *p*	**0.2**	**0.015**	**0.003**	**0.332**	**0.125**	**0.035**	**0.001**
F	**2.24**	**9.431**	**18.582**	**1.488**	**3.067**	**6.246**	**36.923**

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันภายในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

โปรตีนเป็นสารอาหารราคาแพงที่มีบทบาทสำคัญในการเป็นโครงสร้างของร่างกาย ช่วยให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตดี หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้กุ้งกุลาดำใช้โปรตีนในอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพคือสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างโปรตีนและสารอาหารที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน Sedgewick (1979) พบว่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนในอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพของกุ้งชนิด *Penaeus merguiensis* นั้นมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ได้รับจากอาหาร และจากการศึกษาวิจัยพบว่ากุ้งกุลาดำสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ดี (Kanasawa, 1984 cited after Cruz-Suarez *et al*., 1994) แต่ใช้ไขมันได้ในปริมาณจำกัดไม่เกิน 10 % ในอาหาร (Bautista, 1986; Hajra *et al*., 1988) จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่ากุ้งกุลาดำที่ได้รับอาหารซึ่งมีโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรต 32.4/47.8, 35.5/42.4, 40.2/34.5 และ 49.1/22.5 เป็นเวลา 12 สัปดาห์มีการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และประสิทธิภาพโปรตีน (PER) ไม่แตกต่างกัน

โดยทั่วไปความต้องการโปรตีนของกุ้งกลุ่ม Penaeid ส่วนใหญ่ดังที่มีการรวบรวมไว้โดย Shiau (1998) มีค่าแปรผันระหว่าง 30-57 % และความต้องการโปรตีนในกุ้งกุลาดำนั้นมีค่าแปรผันตั้งแต่ 36 ถึง 50 % โดยส่วนใหญ่มีความต้องการโปรตีนเท่ากับ 40 % ทั้งนี้ Shiau (1998) ได้รายงานไว้ว่านอกเหนือจากองค์ประกอบกรดอะมิโนจำเป็น ระยะและอายุที่มีผลต่อความต้องการโปรตีนแล้ว สิ่งแวดล้อมในการเลี้ยง เช่น ความเค็ม ยังเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับโปรตีนในอาหารต่ำสุด (32.4 %) ใกล้เคียงกับการศึกษาโดย Shiau and Peng (1992) ที่ทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำในน้ำความเค็ม 32-34 ส่วนในพันและสามารถลดระดับโปรตีนในอาหารจาก 40 เป็น 30 % ได้โดยใช้แป้งข้าวโพด (cornstarch) เป็นส่วนผสมในอาหาร 30 %

กุ้งกุลาดำนั้นสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตในรูปของแป้งได้ดี มนทกานติและคณะ (2551ก) พบว่ากุ้งกุลาดำสามารถใช้แป้งทุกชนิดเพื่อการเจริญเติบโต ทั้งแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวจ้าว แป้งจากมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลีและมันสำปะหลังเส้น ดังนั้นแม้ว่าสูตรอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงสุด 47 % และมีค่าสูงกว่าระดับที่แนะนำไว้โดยมะลิ (2531) คือ 30-40 % แต่เมื่อเทียบจากปริมาณแป้งในสูตรอาหารซึ่งประกอบด้วยแป้งข้าวเหนียวโม่น้ำ 32.8 % และปลายข้าว 5 % (รวมเป็น 37.8 %) มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Cousin *et al*. (1996) ซึ่งพบว่ากุ้ง *Penaeus vannamei* สามารถใช้แป้งชนิดต่าง ๆ ที่ผสมในอาหารปริมาณ 35 % ทั้งแป้งข้าวโพด ข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่งและแป้งสาลีทั้งแบบสุกและดิบได้โดยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วง 94.1-97.8 % นอกจากนี้รายงานของ Andrews *et al*. (1972) พบว่ากุ้ง *Penaeus setiferus* มีการเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 30 % ในอาหาร เนื่องมาจากกลูโคสที่ได้รับจากการย่อยแป้งค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ทำให้การดูดซึมไป

ใช้มีประสิทธิภาพ (Andrews, 1971) นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพโปรตีน (PER) แสดงให้เห็นว่าร่างกายนำโปรตีนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพแทนที่จะถูกเผาผลาญเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Cowey and Sargent, 1972) ดังรายงานของ Bautista (1986) พบว่าการเพิ่มคาร์โบไฮเดรตในอาหารสูตรโปรตีนต่ำ (30 %) ทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของกุ้งกุลาดำมีค่าสูงขึ้น ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของ PER ระหว่างสูตรอาหาร แม้ว่าอาหารสูตรโปรตีนต่ำสุดมีแนวโน้มค่า PER ดีกว่าอาหารทดลองอีก 3 สูตร

รายงานวิจัยบางฉบับพบว่าชนิดและระดับคาร์โบไฮเดรตมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อกุ้ง ดังรายงานของ Alava and Pascual (1987) พบว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารมีผลต่อความชื้น โปรตีนและไขมันในเนื้อกุ้ง ในขณะที่การวิจัยในครั้งนี้พบว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้ง คาร์โบไฮเดรต ไขมันและพลังงานรวมในเนื้อกุ้ง แม้ว่ามีแนวโน้มการสะสมคาร์โบไฮเดรตในเนื้อกุ้งตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นในอาหารก็ตาม อย่างไรก็ดีพบว่าอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารมีผลต่อการสะสมโปรตีนในเนื้อกุ้ง กุ้งที่ได้รับอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 35.5/42.4 มีการสะสมโปรตีนไม่แตกต่างจากทั้งกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (49.1/22.5) และกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด นอกจากนี้สัดส่วนของไขมันและน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อกุ้งได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนของโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 35.5/42.4 สำหรับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตต่ำสุดเท่ากับ 32.4/47.8 นั้น มีปริมาณโปรตีนที่สะสมในเนื้อต่ำกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (49.1/22.5) และกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด แต่เนื่องจากสภาพการเลี้ยงในบ่อดินซึ่งมีอาหารธรรมชาติ ทำให้กุ้งได้รับสารอาหารจากธรรมชาติร่วมด้วยจึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของการเจริญเติบโตในอาหารสูตรนี้กับสูตรอื่นซึ่งมีระดับโปรตีนที่สูงกว่า

ทั้งนี้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทำให้ความต้องการสารอาหารแตกต่างกัน การศึกษาความต้องการสารอาหารส่วนมากดำเนินการในระบบห้องปฏิบัติการในสภาพที่ไม่มีอาหารธรรมชาติ ในขณะที่การศึกษาครั้งนี้เลี้ยงกุ้งในระบบบ่อดินจึงได้รับอาหารธรรมชาติเพิ่มเติมจากอาหารทดลอง ดังรายงานของ Hari *et al*. (2004) ที่รายงานว่ากุ้งยังต้องพึ่งพาอาหารธรรมชาติในบ่อแม้ว่าจะมีการให้อาหารด้วยก็ตาม นอกจากนี้การศึกษาโดยมนทกานติและคณะ (2551 ข) พบว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในกระชังแขวนไว้ในบ่อดินมีการเจริญเติบโตถึงแม้จะไม่ได้รับอาหารทดลอง ซึ่ง Bombeo-Tuburan *et al*. (1993) รายงานว่ากุ้งกุลาดำ *P. monodon* กินซากพืชซากสัตว์ในบ่อเป็นอาหารถึงแม้จะมีอาหารชนิดอื่นอยู่ในบ่อ เนื่องจากพบว่าในทางเดินอาหารของกุ้งกุลาดำมีซากพืชซากสัตว์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งซากพืชซากสัตว์ (Kumarri *et al*., 1978) รวมทั้งแบคทีเรียที่ปะปนอยู่ (Dall, 1968) และแพลงก์ตอนพืช-สัตว์ ที่ตายลงและกลายเป็นซาก (Rubright *et al*., 1981) มีคุณค่าทางอาหารต่อกุ้งสูง

สัตว์น้ำเป็นสัตว์เลือดเย็นปรับอุณหภูมิในร่างกายตามสภาพแวดล้อม จึงกินอาหารตามความต้องการพลังงานและสลายโปรตีนเพื่อใช้เป็นพลังงานหากได้รับสารอาหารที่ให้พลังงานไม่เพียงพอ (Sedgwick, 1979) ซึ่งสัดส่วนของพลังงานที่ไม่สมดุลกับปริมาณโปรตีนทำให้กุ้งมีอัตราการรอดตายต่ำ (Bautista, 1986) Bages and Sloane (1981) พบว่าปริมาณแป้งข้าวโพด 10 % ในอาหารที่มีโปรตีนสูง 45 และ 55 % ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต แต่มีผลต่ออัตราการรอดตายของลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสลาวา สำหรับอัตราส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารของงานวิจัยครั้งนี้ไม่มีผลต่ออัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำ ถึงแม้อัตราการรอดตายของกุ้งค่อนข้างต่ำ แต่ไม่แตกต่างจากกุ้งชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด นอกจากนี้ระดับพลังงานในอาหารของการศึกษาครั้งนี้ (444-454 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักอาหารแห้ง 100 กรัม) สูงกว่าในรายงานของ Alava and Lim (1983) ซึ่งแนะนำว่าพลังงานรวมระหว่าง 357-375 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักอาหารแห้ง 100 กรัมที่ระดับโปรตีน 30-45 % เพียงพอต่อการต้านทานความเครียดช่วงลอกคราบ ระหว่างการทดลองไม่พบซากกุ้งตาย จึงเป็นไปได้ว่าการตายของกุ้งมีสาเหตุมาจากการกินกันเองระหว่างการเลี้ยง เนื่องจากการทดลองนี้ศึกษาในระบบกระชังบ่อดินและเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลานาน ใกล้เคียงกับสภาพการเลี้ยงจริง กุ้งจึงมีขนาดโตและเริ่มกินกันเองมากขึ้น ถึงแม้ความเค็มจะมีค่าแปรผันในช่วงกว้าง เนื่องจากการควบคุมความเค็มค่อนข้างยากเมื่อสภาพอากาศร้อนและค่าความเป็นด่างมีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากการเติมน้ำบาดาลเพื่อทดแทนการระเหยและการควบคุมความเค็ม แต่คุณภาพน้ำที่สำคัญระหว่างการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง

ผลจากการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในบ่อดินสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตในช่วงกว้างตั้งแต่ 22 ถึง 48 % ในอาหารเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำรองโปรตีนโดยไม่ทำให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนอาหารสูตรคาร์โบไฮเดรตสูง (48 %) และคาร์โบไฮเดรตต่ำ (22 %) พบว่าสามารถลดต้นทุนค่าอาหารลงได้ 14 % อย่างไรก็ตามการใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำควรคำนึงถึงคุณสมบัติของแหล่งโปรตีนที่ใช้ด้วยและแนะนำว่าในสภาพการเลี้ยงที่มีอาหารธรรมชาติน้อยควรมีปริมาณโปรตีนในอาหารไม่น้อยกว่า 35.5 % และมีคาร์โบไฮเดรตไม่มากกว่า 42.4 % นอกจากนี้ในอนาคตควรมีการศึกษาวิจัยการจัดการอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน เช่น เปรียบเทียบอัตราการให้อาหารที่แตกต่างกันระหว่างอาหารโปรตีนต่ำและอาหารโปรตีนสูง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งในการช่วยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารและสัตว์ทดลอง และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรีทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

มะลิ บุณยรัตผลิน. 2531. อาหารและการให้อาหารกุ้งกุลาดำ. สำนักพิมพ์ช่องนนทรี, กรุงเทพฯ. 63 หน้า.

มนทกานติ ท้ามติ้น, สุพิศ ทองรอด และ สิริพร ลือชัยชัยกุล. 2551ก. วัตถุดิบแป้งที่ใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและระดับที่เหมาะสมในอาหารต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius, 1798). เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2551. สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง. 18 หน้า.

มนทกานติ ท้ามติ้น, สุพิศ ทองรอด และ สิริพร ลือชัยชัยกุล. 2551ข. การเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและประสิทธิภาพการย่อยอาหารที่ผลิตจากแหล่งปลาป่นต่าง ๆ กันของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius, 1798) ที่เลี้ยงในระบบบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2551. สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง. 27 หน้า.

สุพิศ ทองรอด. 2534. พลังงาน. **ใน:** กลุ่มวิจัยอาหารสัตว์น้ำ สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดอาหารสัตว์น้ำ (บรรณาธิการ). อาหารสัตว์น้ำ. ฝ่ายฝึกอบรม, กองส่งเสริมการประมง, กรมประมง. หน้า 1-4.

Akiyama, D. M., W. G. Dominy and A. L. Lawrence. 1991. Penaeid shrimp nutrition for the commercial feed industry revised. Pages 80-98. **In:** Akiyama, D.M. and R.K.H. Tan, (eds). Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop, Thailand and Indonesia, 19-25 September 1991. American Soybean Association, Singapore.

Alava, V. R. and C. Lim. 1983. The quantitative dietary protein requirements of *Penaeus monodon* juveniles in a controlled environment. *Aquaculture* 30:53-61.

Alava, V. R. and F. P., Pascual. 1987. Carbohydraete requirements of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles. *Aquaculture* 61:211-217.

AOAC. 1980. Official Methods of Analysis Association of Official Analytic Chemists. Washington D.C. 1018 pp.

Andrews, J. W.. 1971. The energy and lipid requirements of catfish. *Proc. Georgia Nutrition Conf*., p. 114-127.

Andrews, J.W., V. L. Sick and G. J. Baptist. 1972. The influence of dietary protein and energy levels on growth and survival of penaeid shrimp. *Aquaculture* 1:341-347.

Bages, M. and L. Sloane. 1981. Effects of dietary protein and starch levels on growth and survival of *Penaeus monodon* (Fabricius) postlarvae. *Aquaculture* 25:117-128.

Bautista, M.N.. 1986. The response of *Penaeus monodon* juveniles to varying protein/energy ratios in test diets. *Aquaculture* 53:229-242.

Bombeo-Tuburan, I., N.G. Guanzon Jr. and G.L. Schroeder. 1993. Production of *Penaeus monodon* (Fabricius) using four natural food types in an extensive system. *Aquaculture* (112):57-65.

Conklin, E. D., 1997. Vitamins. **In:** D'Abramo, L. A., D.E. Conklin and D.M. Akiyama (eds). Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. *World Aquaculture Society*. 6:123-149.

Cowey, C. B. and J. R. Sargent. 1972. Fish nutrition. *Adv. Mar. Biol.*, 10:383-492.

Cousin, M., G. Cuzon, J. Guillaume and AQUACOP. 1996. Digestibility of starch in *Penaeus vannamei*: in vivo and vitro study on eight samples of various origin. *Aquaculture* 140: 361-372.

Cruz-Suarez, L.E., D. Ricque-Marie, J.D. Pinal-Mansilla, and P. Wesche-Ebelling. 1994. Effect of different carbohydrate sources on the growth of *Penaeus vannamei*: economical impact. *Aquaculture* 123:349-360. Cited after Kanazawa, A. 1984. Nutrition of penaeid prawns and shrimps. **In:** Taki, Y., J.H. Primavera and J.A. Llobrera (eds). Proc. 1st.Conf. Culture Penaeid Prawns/Shrimp, Aquaculture Dept., SEAFDEC, Iloilo City, Philippines. p. 123-130.

D'Abramo, L. R.. 1990. Lipid requirement of shrimp. **In:** Advances in Tropical Aquaculture, Tahiti, 20 February-4 March 1989 Actes de colloques no.9, Aquacop, Ifremer. p. 271-285.

D'Abramo, L. R., S. S. Sheen. 1994. Nutritional requirements, feed formulation and feeding practices for intensive culture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Rev. Fish. Sci. (2) 1: 1-21.

Dall, W. 1968. Food and feeding of some Australian penaeid shrimp. *FAO Fish. Rep*., 2:251-258.

Davis, D.A. and A.L. Lawrence. 1997. **In:** D'Abramo, L.A., D.E. Conklin and D.M. Akiyama (eds). Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. *World Aquaculture Society* 6:150-163.

Hajra, A., A. Ghosh and S. K. Mandal. 1988. Biochemical studies on the determination of optimum dietary protein to energy ratio for tiger prawn, *Penaeus monodon* (Fab.), juveniles. *Aquaculture* 71:71-79.

Hari, B., B. M. Kurup, J. T. Varghese, J. W. Schrama and M. C. J. Verdegem. 2004. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture* 241:179-194.

Kumarri, L. K., Sumitra-Vijayaraghavan, M.V.M.Wafar, J.P. Royan and A. Rajendran. 1978. Studies on detritus in a tropical estuary. *Ind. J. Mar.Sci*. 7:263-266.

Rubright, J.S., J.L. Harrell, H.W. Holcomb and J.C. Parker. 1981. Responses of planktonic and benthic communities to fertilizer and feed applications in shrimp mariculture ponds. *J. World Maricult. Soc*. 12:281-299.

Sedgwick, R. W. 1979. Influence of dietary protein and energy on growth, food consumption and food conversion efficiency in *Penaeus merguiensis* de Man. *Aquaculture* 16:7-30.

Shiau, S. Y. 1998. Nutrient requirements of penaeid shrimps. *Aquaculture* 164: 77-93.

Shiau, S. Y. and C. Y. Peng. 1992. Utilization of different carbohydrates at different dietary protein levels in grass prawn, *Penaeus monodon*, reared in seawater. *Aquaculture* 101:241-250.

Sokal, R. R. and F.J. Rohlf. 1981. Biometry, 2nd. W.H. Freeman and Company. New York. 859 p.