บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อนำตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 สูตร ไปหาค่าพลังงานรวม พบว่ามีค่าพลังงานรวมอยู่ในช่วง 4238.10 - 4494.97 cal/g จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นค่าพลังงานรวมในอาหารจะสูงขึ้น พลังงานที่สูงขึ้นเกิดจากโปรตีนที่มีอยู่ในอาหาร ค่าพลังงานในอาหารของกุ้งกุลาดำที่เหมาะสมต่อความต้องการอยู่ที่ 3300 cal/g ในอาหารที่มีระดับโปรตีน 40 % (AQUACOP, 1976 อ้างถึงใน Sedgwick, 1979) และในการทดลองของ Sedgwick (1979) พบว่าระดับโปรตีนที่เหมาะสมต่อความต้องการของกุ้ง *Penaeus merguiensis* ในระยะวัยรุ่นอยู่ในช่วง 34.0 - 42.0 % มีค่าพลังงานรวมในอาหาร 2900 - 4400 cal/g โดยมีหอยแมลงภู่ (*Mytilus edulis*) เป็นแหล่งโปรตีน จากตารางที่ 2 ค่าพลังงานรวมในอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่าเพียงพอกับความต้องการของกุ้ง

คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง

คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและคงที่ เนื่องจากในแต่ละหน่วยการทดลองมีระบบกรองที่ดัดแปลงจาก Spotte (1979) นอกจากนี้ในระหว่างเลี้ยงมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยการดูดตะกอนและเศษอาหารที่เหลือออกด้วยวิธีกาลักน้ำ แล้วเติมน้ำใหม่ให้ได้ปริมาตรเท่าเดิม และล้างใยสังเคราะห์กรองน้ำในระบบกรองทุกๆ 3 - 4 วัน ในการศึกษาของเบ็ญจมาศ จันทะภา (2540) เรื่องอัตราส่วนระหว่างโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในอาหารกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น ได้มีการใช้ระบบกรองน้ำเช่นเดียวกับการทดลองนี้และให้ผลของคุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน

อัตราการเติบโตและอัตรารอด

จากผลการทดลองพบว่า ความเค็มไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตของกุ้งกุลาดำ แต่ระดับของโปรตีนมีผลต่ออัตราการเติบโตจำเพาะในทุกระดับของความเค็ม (รูปที่ 6) โดยที่ระดับโปรตีนสูงจะมีอัตราการเติบโตจำเพาะสูงกว่าที่ระดับโปรตีนต่ำ เนื่องจากระดับโปรตีนสูงย่อมมีค่าพลังงานใน

อาหารสูงกว่าระดับโปรตีนต่ำในอาหารที่มีสารอาหารตัวอื่น ๆ เท่ากัน เมื่อกุ้งได้รับอาหารที่มีค่าพลังงานแตกต่างกันในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน กุ้งที่ได้รับพลังงานจากอาหารที่มากกว่าย่อมมีอัตราการเติบโตจำเพาะที่สูง ในการทดลองของ Bautista (1986) เรื่องการตอบสนองของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่นต่อระดับของโปรตีนและอัตราส่วนของพลังงานในอาหารทดลองที่แตกต่างกัน พบว่าที่ระดับของคาร์โบไฮเดรต 20 % โปรตีนที่สูงกว่า (40 45 และ 50 %) จะมีอัตราการเติบโตจำเพาะที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนนี้ ส่วนเบญจมาศ จันทรภา (2539) ทดลองในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ในระยะวัยรุ่น พบว่าที่ระดับโปรตีน 35 และ 40% มีค่าพลังงานรวมในอาหาร 3300 cal/g เท่ากัน จะมีอัตราการเติบโตไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากระดับโปรตีนที่ใช้ในการศึกษาของเบญจมาศ ไม่มีความแตกต่างกันเท่ากับความแตกต่างในการศึกษาครั้งนี้

ในทุกระดับของความเค็มเมื่อระดับของโปรตีนเพิ่มขึ้นอัตรารอดมีแนวโน้มสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ดังในรูปที่ 7 ในความเค็มเดียวกันเมื่อกุ้งได้รับโปรตีนมากกว่า พลังงานที่ได้จะนำไปใช้ซ่อมแซม เลี้ยงดู และประคองชีวิตให้อยู่รอดได้ดีกว่ากุ้งที่ได้รับโปรตีนน้อย จึงทำให้กุ้งที่ได้รับโปรตีนสูงกว่ามีอัตรารอดที่ดีกว่า ซึ่งในการทดลองของ Smith และคณะ (1985) เลี้ยงกุ้ง *Penaeus vannamei* ด้วยอาหารที่มีระดับและแหล่งของโปรตีนแตกต่างกัน (24.10 32.26 และ 41.35 %) ในส่วนของอัตรารอดไม่แตกต่างกัน แต่การทดลองของ Bautista (1986) ที่ระดับโปรตีน 40 - 50 % จะมีอัตรารอดที่แตกต่างจากระดับโปรตีน 30 % ($P<0.05$)

ในทุกระดับของโปรตีนที่ความเค็ม 20 และ 30 ppt จะมีอัตรารอดที่สูงกว่าที่ความเค็ม 10 ppt ($P<0.05$) ดังในรูปที่ 8 ระดับของความเค็มที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับนี้ได้จากการนำน้ำทะเลจากนาเกลือที่มีความเค็ม 110 ppt มาเจือจางด้วยน้ำจืด (น้ำประปา) น้ำที่มีความเค็มต่ำจะมีแร่ธาตุและอัลคาลินิตี (Alkalinity) ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของกุ้งน้อย ทำให้กุ้งได้รับไม่เพียงพอแก่ความต้องการ ดังนั้นความเค็มที่สูงกว่าจะมีอัตรารอดที่ดีกว่า ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกันการทดลองของ Cawthorne และคณะ (1982) ศึกษากุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่นต่อการตอบสนองของความเค็มโดยกุ้งที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันอัตรารอดจะสูงขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความเค็มจะไม่มีผลต่ออัตรารอดกับสัตว์ทะเลที่สามารถอาศัยอยู่ในความเค็มได้ในช่วงกว้าง (euryhaline)

ค่าพลังงานของตัวแปรต่าง ๆในสมการการจัดสรรพลังงาน

ค่าพลังงานจากการบริโภค (C)

Bayne (1985) กล่าวว่า เมื่อสิ่งมีชีวิตเกิดความเครียดจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น อุณหภูมิ และความเค็ม เป็นต้น การกินอาหารของสัตว์น้ำจะลดลง แต่จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ความเค็มไม่มีผลต่อการกินอาหารของกุ้งกุลาดำ โดยแสดงได้จากค่าพลังงานจากการบริโภค (รูปที่ 10) ความเค็มไม่มีผลต่อค่าพลังงานจากการบริโภค เนื่องจากกุ้งที่ใช้ทดลองในครั้งนี้นำมาจากนากุ้งที่เลี้ยงด้วยความเค็ม 20 ppt เมื่อนำมาทำการทดลองในสภาพของความเค็มที่แตกต่างกัน (10 20 30 ppt) กุ้งสามารถปรับตัวให้เข้ากับความเค็มนั้น ๆ ได้เป็นอย่างดี และก่อนที่จะทำการหาค่าพลังงานจากการบริโภคได้มีการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็มทั้ง 3 ระดับไว้แล้วเป็นเวลา 1 เดือน ทำให้กุ้งสามารถกินอาหารได้ตามปกติ เมื่อระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นค่าพลังงานจากการบริโภคจะสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$ รูปที่ 9) เนื่องจากมีระดับของโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหาร เมื่อกุ้งกินอาหารในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน กุ้งจะได้รับพลังงานจากอาหารแตกต่างกัน อาหารที่มีโปรตีนสูงย่อมมีพลังงานที่มากกว่าอาหารที่มีโปรตีนต่ำ โดยมีสารอาหารตัวอื่น ๆ เท่ากัน ค่าพลังงานจากการบริโภคของกุ้งกุลาดำจากการทดลองนี้อยู่ในช่วง 307.99 - 332.01 cal/g/day ซึ่งเป็นกุ้งในระยะวัยรุ่น (น้ำหนัก 0.6-0.7 g) Kurmaly และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษาการจัดสรรพลังงานของกุ้งกุลาดำเช่นกันแต่อยู่ในระยะ postlarva พบว่ามีค่าพลังงานจากการบริโภค 4.49 J / individual / day และ Piyatiratitivorakul (1988) ศึกษาการจัดสรรพลังงานของกุ้ง *Palaemonetes pugio* พบว่ามีค่าพลังงานจากการบริโภค 256.14 J / individual / day

ค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโต (P)

เมื่อระดับของโปรตีนสูงขึ้นค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโตจะเพิ่มขึ้น โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระหว่างโปรตีนทั้ง 3 ระดับ ซึ่งการทดลองในส่วนนี้ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของ Smith และคณะ (1984) ซึ่งศึกษาในกุ้ง *P. vannamei* โดยมีโปรตีน 3 ระดับ (22, 29 และ 36 %) พบว่ากุ้งที่มีขนาดเล็ก (4.0 g) เมื่อระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นการเติบมีแนวโน้วสูงขึ้น และ Bautista (1986) ได้ทำการศึกษาในกุ้งกุลาดำ (น้ำหนัก 0.6 - 0.8 g) โดยมีโปรตีน 3 ระดับ (30, 40 และ 50 %) พบว่าที่ระดับโปรตีน 40 และ 50 % มีการเติบโตดีกว่าที่ระดับโปรตีน 30 % วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย (2536) กล่าวว่าสัตว์ที่กินเนื้อส่วนใหญ่มีความต้องการโปรตีนเพื่อการ

เติบโตสูงคือประมาณ 35 % ขึ้นไป ความต้องการโปรตีนของกุ้งกุลาดำในระยะ postlavae อยู่ที่ระดับโปรตีน 46 % (Lee, 1971 อ้างถึงใน Halver, 1989) โปรตีนเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของกุ้ง จากการศึกษาเกี่ยวกับระดับของโปรตีนต่อการเติบโตของกุ้งที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ที่ระดับโปรตีนสูงย่อมมีค่าการเติบโตที่ดีกว่า นั่นหมายถึงร่างกายได้รับพลังงานจากอาหารในรูปของโปรตีนและนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ในส่วนต่าง ๆ แล้วพลังงานส่วนที่เหลือจะนำไปใช้ในการเติบโต บางครั้งถ้ากุ้งได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอกุ้งจะไม่มีการเติบโต เพราะกุ้งจะนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ในส่วนอื่นที่มีความจำเป็นมากกว่า เช่น ใช้ในการหายใจ หรือใช้พลังงานในการรักษาสมดุลของน้ำ เป็นต้น ในการทดลองนี้เห็นได้ว่าระดับของโปรตีนไม่มีผลต่อค่าพลังงานในส่วนอื่น ๆ กล่าวคือกุ้งจะใช้พลังงานในส่วนต้น ๆ ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อกุ้งได้รับระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน (25, 35 และ 45 %) พลังงานที่ได้รับย่อมแตกต่างกันด้วย จึงทำให้มีพลังงานส่วนที่เหลือนำมาใช้ในการเติบโตหรือค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโตจะแตกต่างกัน โดยที่ระดับโปรตีนสูงจะมีค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโตที่มากกว่า (รูปที่ 11) สัดส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโตจากการทดลองของ Kurmaly (1989) ในกุ้ง *P. monodon* ระยะ postlarva พบว่ามีค่า 9 % ของอาหารที่ให้ในหนึ่งวัน และในการทดลองของ Piyatiratitivorakul (1988) ในกุ้ง *Palaemonetes pugio* มีค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโต 13.6 % และจากการทดลองนี้มีค่าโดยเฉลี่ยของทุกความเค็มและระดับของโปรตีนเท่ากับ 14.48 % สัดส่วนของค่าพลังงานในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับ พลังงานที่ได้รับจากอาหารเป็นหลัก และการนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ในส่วนต่าง ๆ ก่อนที่จะเหลือมาเป็นพลังงานในส่วนนี้ โดยขึ้นอยู่กับภาวะของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม เป็นต้น ในกุ้งต่างชนิดกันค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโตจะแตกต่างกันด้วย เพราะลักษณะนิสัยของการกิน กิจกรรมและพฤติกรรมต่าง ๆ แตกต่างกัน และกุ้งชนิดเดียวกันในวัยที่แตกต่างกันค่าพลังงานส่วนนี้จะแตกต่างกันเช่นกัน โดยในระยะก่อนโตเต็มวัยกุ้งจะใช้พลังงานของการเติบโตในรูปของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และในระยะใกล้โตเต็มวัยจะใช้พลังงานของการเติบโตในรูปของการสืบพันธุ์

ค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจ (R)

จากผลการทดลองพบว่า ทั้งความเค็มและระดับของโปรตีนไม่มีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจ ($P > 0.05$) แต่ Chen และ Lin (1995) ทดลองในกุ้ง *Penaeus chinensis* ระยะวัยรุ่น (0.76 g) พบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลง (0.39, 0.36 และ 0.34 mg/g/h) เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น (10, 20 และ 30 psu) โดยปรับความเค็มในอัตรา 2 - 3 psu ต่อวัน ภายใน 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นทำการทดลองทันที และการทดลองของ Gasca-Leyva (1991) ในกุ้ง *Macrobrachium acanthurus* พบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลง (9500 - 100 mg/kg/h) เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น (0, 10 และ 20 ppt) และจะเห็นชัดที่อุณหภูมิต่ำ (20, 25, 30 และ 35 ^{0}C) จารุวัฒน์ นภีตะภัฏ และสมนึก กบิลรัมย์ (2532) กล่าวว่าความเค็มนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภคออกซิเจนน้อย และได้ทำการทดลองในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) พบว่าเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น (10, 20 และ 30 ppt) อัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C และอัตราการบริโภคออกซิเจนจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 30 ^{0}C การที่ผลการทดลองในครั้งนี้ไม่พบผลของความเค็มต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจ อาจเนื่องจากกุ้งกุลาดำสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพในความเค็มนั้น ๆ ได้ดี (10 20 และ 30 ppt) เนื่องจากมีการเลี้ยงกุ้งทดลองที่ความเค็มต่าง ๆ มาแล้วเป็นเวลา 1 เดือน โดยเห็นได้จากการทดลองข้างต้นของ Chen และ Lin (1995) โดยความเค็มมีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจน เพราะมีการปรับความเค็มภายใน 1 สัปดาห์ และค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนของกุ้งจะเห็นได้ว่ามีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย และจากการทดลองของ จารุวัฒน์ นภีตะภัฏ และสมนึก กบิลรัมย์ (2532) ข้างต้นพบว่าความเค็มมีผลต่ออัตราการบริโภคของออกซิเจนเมื่อมีปัจจัยของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การทดลองของ Yagi et al. (1990) ในกุ้ง *Palaemon serratus* พบว่าเมื่อความเค็มเปลี่ยนในช่วงแรกอัตราการบริโภคออกซิเจนจะเปลี่ยนไปในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วจะลดลงและคงที่ ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการบริโภคออกซิเจนเป็นการแสดงออกของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป หลังจากนั้นกุ้งจะอยู่ในสภาวะปกติ เช่นเดียวกับระดับโปรตีน ในอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน เมื่อกุ้งได้รับแล้วในช่วง 1 - 2 ชั่วโมง พลังงานที่ใช้ในการเผาผลาญสารอาหารที่แสดงในรูปของการบริโภคออกซิเจนจะแตกต่างกัน โดยในช่วงแรกกุ้งจะมีอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงหลังจากนั้นกุ้งจะบริโภคออกซิเจนตามปกติ ในการทดลองนี้การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนจะนำตัวอย่างกุ้งที่ให้อาหารแล้วไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง แล้วจึงทำการวัดหาอัตราการบริโภคออกซิเจน ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) สัดส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ในการ

หายใจจากการทดลองของ Kurmaly (1989) ในกุ้ง *P. monodon* ระยะ postlarva พบว่ามีค่า 5.12 % ของอาหารที่ให้ในหนึ่งวัน และในการทดลองของ Piyatiratitivorakul (1988) ในกุ้ง *Palaemonetes pugio* มีค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจ 25.4 % และจากการทดลองนี้มีค่าโดยเฉลี่ยของทุกความเค็มและระดับของโปรตีนเท่ากับ 14.98 % สัดส่วนของค่าพลังงานในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้แก่ อุณหภูมิ และความเค็ม ยิ่งถ้าปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยร่วมแล้วทำให้สัดส่วนของค่าพลังงานในส่วนนี้มีค่ามากขึ้น

ค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนีย (U)

จากผลการทดลองพบว่าความเค็มและระดับโปรตีนไม่มีผลต่อค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนีย ($P > 0.05$) แต่ในการทดลองของ Chen และ Lin (1995) ในกุ้ง *Penaeus chinensis* ระยะวัยรุ่น (0.76 g) พบว่าการขับถ่ายแอมโมเนียจะลดลง (50, 45 และ 40 μg/g/h) เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น (0, 1, 5 และ 10 psu) ที่ pH 7.5 Jobling (1994) กล่าวว่า สัตว์น้ำส่วนใหญ่จะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของแอมโมเนีย ของเสียที่ได้เกิดจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารประเภทโปรตีน เมื่อกุ้งได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนต่างกันกุ้งจะมีของเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าจะมีของเสียที่ถูกขับถ่ายออกมาในรูปของแอมโมเนียมากกว่า แต่จากการศึกษาครั้งนี้ ในทุกระดับของความเค็มเมื่อระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนียมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) อาจเนื่องจากในขณะที่ทำการสุ่มตัวอย่างกุ้งมาทำการทดลองกุ้งจะเกิดความเครียดจากการสุ่มตัวอย่างโดยวิธีใช้สวิงไล่ช้อนกุ้ง ทำให้กุ้งมีการขับถ่ายแอมโมเนียมากขึ้น และเมื่อกุ้งอยู่ในขวดทดลองที่มีขนาดเล็กกว่าหน่วยการทดลองที่ใช้เลี้ยงอาจทำให้การขับถ่ายแอมโมเนียเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนียมีค่าความแปรปรวนสูง (รูปที่ 12) Wasbort และคณะ (1989; อ้างถึงใน พุทธ ส่องแสงจินดา 2537) พบว่าในกุ้งกุลาดำน้ำหนัก 1.6 - 27 กรัม มีการขับถ่ายแอมโมเนีย 1.78 - 5.52 cal/g/day สัดส่วนของค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนียจากการทดลองของ Kurmaly (1989) ในกุ้ง *P. monodon* ระยะ postlarva พบว่ามีค่า 2.15 % ของอาหารที่ให้ในหนึ่งวัน โดยค่านี้ได้จากการประมาณค่า 4 % ของพลังงานที่ให้ และในการทดลองของ Piyatiratitivorakul (1988) ในกุ้ง *Palaemonetes pugio* มีค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนีย 0.6 % จากการทดลองนี้มีค่าโดยเฉลี่ยของทุกความเค็มและระดับของโปรตีนต่อค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนียเท่ากับ 1.12 % สัดส่วน

ของค่าพลังงานในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาผลาญสารอาหารประเภทโปรตีนเป็นหลัก และขึ้นอยู่กับขนาด อายุ ชนิดของกุ้ง และความเครียดที่เกิดขึ้นจากภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง

ค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของอุจจาระ (F)

จากการทดลองค่าโดยเฉลี่ยของทุกความเค็มและระดับของโปรตีนต่อพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของอุจจระเท่ากับ 56.66 % สัดส่วนของค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของอุจาระจากการทดลองของ Kurmaly (1989) ในกุ้ง *P. monodon* ระยะ postlarva พบว่ามีค่า 83.71 % ของอาหารที่ให้ในหนึ่งวัน โดยค่านี้ได้จากการนำพลังงานในส่วนต่าง ๆ ที่ได้มารวมกัน แล้วหักออกจากพลังงานที่ให้ และในการทดลองของ Piyatiratitivorakul (1988) ในกุ้ง *Palaemonetes pugio* มีค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของอุจาระ 58.2 % การนำอาหารไปใช้ประโยชน์ในสัตว์จำพวกครัสตาเซีย (Crustacea) จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมอาหาร (Wilson, 1989) สัตว์น้ำชนิดเดียวกันในขณะที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมอาหารน้อยกว่าในระยะที่โตเต็มวัย และพลังงานที่สูญเสียไปส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอุจจาระ (Jobling, 1994) จะเห็นได้ว่าในทุกระดับของความเค็มเมื่อระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของอุจจาระมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$ รูปที่ 13) เนื่องจากกุ้งได้รับพลังงานจากโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารต่างกัน ดังนั้นสัดส่วนของค่าพลังงานในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมอาหาร ขนาดและวัยของกุ้ง

ค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของคราบ (M)

การลอกคราบเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสัตว์พวกครัสตาเซีย การลอกคราบจะสัมพันธ์กับการเติบโต ความถี่ของการลอกคราบจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น อุณหภูมิ ความเค็ม และวัย เป็นต้น ความถี่ของการลอกคราบที่ผิดปกติ เช่น การลอกคราบถี่เกินไปหรือช่วงของการลอกคราบยาวนานกินไป เป็นต้น อาจเนื่องจากการที่มีปรสิตมาเกาะตามตัว การขาดแคลนอาหาร หรือการขาดสมดุลของของเหลวภายในร่างกายกับภายนอก (ประจวบ หล่ำอุบล, 2537) เมื่อระดับของโปรตีนเพิ่มขึ้นค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของคราบมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่าง ($P > 0.05$ รูปที่ 14) เนื่องจากที่ระดับโปตีนสูงจะมีการเติบโตที่ดีกว่า การเติบโตจะสัมพันธ์กับการลอกคราบ โดยกุ้งจะลอกคราบบ่อยครั้งขึ้น แต่ที่ระดับโปรตีนเดียวกันถ้าความเค็มลดลงค่าพลังงานที่สูญไป

ในรูปของคราบจะเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$ รูปที่ 15) ที่ความเค็มต่ำจะมีการลอกคราบที่บ่อยครั้งกว่าที่ความเค็มสูง จึงทำให้มีการสูญเสียพลังงานที่อยู่ในรูปของคราบมาก เนื่องจากที่ความเค็มต่ำจะมีแร่ธาตุและอัลคาลินิตีที่จำเป็นต่อการดำรงชีพน้อย กุ้งจึงต้องปรับสมดุลของของเหลวภายในร่างกายกับภายนอกอยู่ตลอดเวลา โดยส่งผลต่อการลอกคราบของกุ้งและสูญเสียพลังงานในส่วนนี้ไป

จากผลการทดลองเมื่อนำค่าพลังงานของตัวแปรต่าง ๆ มาพิจารณาถึงภาวะที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่นพบว่า ที่ความเค็ม 20 ppt และที่ระดับโปรตีน 35 % เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้มีอัตราการเติบโตดี อัตรารอดสูง และต้นทุนของอาหารที่ใช้เลี้ยงต่ำ เมื่อนำค่าพลังงานของตัวแปรต่าง ๆ ในสมการการจัดสรรพลังงานของกุ้งกุลาดำมาพิจารณาและหาสัดส่วนแล้วพบว่า ค่าพลังงานที่กุ้งได้รับไปนั้นส่วนใหญ่สูญเสียไปในรูปของอุจจาระ (56.42 % ของพลังงานที่ได้รับ) รองลงมาจะนำพลังงานไปใช้ในการหายใจ ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการหายใจรูปนี้เป็นการวัดพลังงานที่ใช้ในการเผาผลาญอาหาร และประคองชีวิตให้ดำรงอยู่รอด กุ้งจะใช้พลังงานในส่วนนี้ไปประมาณ 14.88 % และเมื่อมีการเผาผลาญอาหารจะมีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียประมาณ 0.98 % เมื่อกุ้งนำพลังงานที่ได้ไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีวิตแล้วพลังงานในส่วนที่เหลือกุ้งจะนำไปใช้ในการเติบโตประมาณ 15.39 % การเติบโตของกุ้งจำเป็นต้องมีการลอกคราบเพื่อเพิ่มขนาดและน้ำหนักของตัว กุ้งจึงมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของคราบประมาณ 0.65 % สัดส่วนในการจัดสรรพลังงานนี้ได้ผลเช่นเดียวกันหรือได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกันกับการทดลองของ Kurmaly และคณะ (1989), Piyatiratitivorakul (1988), Pedersen (1987) และ Xie และคณะ (1997)

จากสัดส่วนของค่าพลังงานที่ได้ข้างต้นเมื่อนำมารวมแล้วพบว่า ค่าพลังงานที่นำไปจัดสรรนั้นมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ได้รับ มีการสูญหายไปของพลังงานอยู่ประมาณ 10 % เนื่องจากค่าพลังงานที่ได้รับคำนวณจากน้ำหนักอาหารที่หายไป ในขณะที่กุ้งกินอาหารกุ้งจะมีการบดเคี้ยวอาหารที่บริเวณกรามก่อนเข้าสู่กระเพาะอาหาร ทำให้อาหารมีการแตกกระจายออกและละลายออกไปกับน้ำ ซึ่งไม่เหมือนกับสัตว์บกเมื่อได้ชิ้นอาหารมาแล้วจะกินได้ทั้งชิ้น ดังนั้นอาหารที่ให้กุ้งจะไม่ได้รับทั้งหมดจะมีการสูญเสียไปในขั้นตอนของการกิน เช่นเดียวกับการทดลองของ Piyatiratitivorakul (1988)