การสะสมของไนโตรเจนในน้ำ และคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปิด

Nitrogen Loading and Water Quality in Closed Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man, 1879) Culture Systems

กาญจนรี พงษ์ฉวี[1*]
Kanchanaree Pongchawee[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษาการสะสมของไนโตรเจนในน้ำและคุณภาพน้ำระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปิด แบ่งเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาการไหลเข้าและการสะสมของไนโตรเจนที่เป็นของเสียจากตัวกุ้งก้ามกรามและจากอาหาร โดยแบ่งเป็น 3 การทดลองย่อย การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาอัตราการขับแอมโมเนียออกทางเหงือกของกุ้งก้ามกราม การทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาการสูญเสียของไนโตรเจนจากการที่อาหารตกลงไปในน้ำเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน การทดลองย่อยที่ 3 การศึกษาการขับถ่ายของเสียไนโตรเจน และประสิทธิภาพการย่อยอาหารของกุ้งก้ามกรามขนาดต่างกันและมีความถี่ในการให้อาหารต่างกัน การทดลองที่ 2 ศึกษาไนโตรเจนจากอากาศที่เข้าสู่ระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกราม และการทดลองที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน คุณภาพของน้ำ และแพลงก์ตอนพืชในระบบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปิด

ผลการศึกษาพบว่ากุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหาร 1 มื้อ มีอัตราการขับแอมโมเนียออกทางเหงือกหลังการกินอาหาร 1 ชั่วโมง สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เฉลี่ย 18.61±3.50 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักกุ้ง หลังจากนั้นมีค่าลดลง ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำมีความสัมพันธ์กับอัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากอาหารลงสู่น้ำ ($N_{fw,}$ % ไนโตรเจนเริ่มต้น/ชั่วโมง) โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ N_{fw} = 2.791 + 9.285/จำนวนชั่วโมงที่อาหารอยู่ในน้ำ กุ้งก้ามกรามขนาดกลางน้ำหนักเฉลี่ย 93.76±3.84 กรัม/ตัว และกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่น้ำหนักเฉลี่ย 157.38±5.84 กรัม/ตัว ที่ให้อาหาร 2 และ 3 มื้อต่อวัน มีประสิทธิภาพการย่อยไนโตรเจนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยกุ้งก้ามกรามขนาดกลางที่ให้อาหาร 2 และ 3 มื้อต่อวัน และ กุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่ที่ให้อาหาร 2 และ 3 มื้อต่อวัน มีประสิทธิภาพการย่อยไนโตรเจนเฉลี่ย 78.159±12.809, 81.363±13.565, 86.526±7.434 และ 88.605±7.776 % ตามลำดับ การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในตู้แบบปิดและตู้แบบเปิด มีปริมาณไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้แก่แอมโมเนีย และไนไตรท์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากอากาศจึงมีผลไม่มากนักต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ผลการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในระบบปิดเป็นระยะเวลา 36 วัน พบว่ามีไนโตรเจนเข้าสู่ระบบจากการให้อาหาร 1.454 กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักกุ้ง/วัน ไนโตรเจนจากการให้อาหารถูกเปลี่ยนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนในผลผลิตกุ้งเฉลี่ย 20.52±4.77% ดังนั้นจึงมีไนโตรเจนจากอาหารที่สูญเสียเป็นของเสียในน้ำเฉลี่ย 79.48±4.77% โดยไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อเลี้ยงกุ้งประกอบด้วยไนโตรเจนที่ละลายน้ำ 96.07% นอกจากนี้ยังพบว่าการเลี้ยงกุ้งมีผลทำให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และ BOD เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ปริมาณไนโตรเจนในอนุภาค (PN, มิลลิกรัม/ลิตร) ที่อยู่ในน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (CHLA, ไมโครกรัม/ลิตร) โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $PN = (5.832\times10^{-2}) + (1.517\times10^{-3})$ CHLA

คำสำคัญ: การสะสมของไนโตรเจน คุณภาพน้ำ การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

Abstract

Nitrogen loading and water quality in giant freshwater prawn culture system were conducted in three experiments. The first experiment was divided into 3 sub-experiments to determine nitrogenous waste from prawn and feeding. Sub-experiment 1: Study on ammonia excretion from prawn gill. Sub-experiment 2: Study on nitrogen leached from feed. Sub-experiment 3: Study on nitrogen input from prawn feces and digestibility of different sizes prawn and different feeding frequency. The second experiment was study on nitrogen entering to culture system from the air. The third experiment was study on changes of nitrogen compounds, water quality and phytoplankton in closed prawn culture systems.

The result indicated that duration after feeding was correlated with the ammonia gill excretion rate. Prawn had the highest ammonia excretion rate after 1 hour of eating (18.61 ± 3.50 µg/g prawn weight). After that, ammonia excretion rate was decreased with increasing time. Soaking period was correlated with the rate of nitrogen loss from feed (N_{fw}); N_{fw} (%/ hour) = 2.791 + 9.285 / soaking period (hours). Nitrogen digestibility of medium sized prawns (93.76 ± 3.84 g) and large sized prawns (157.38 ± 5.84 g) fed 2 and 3 times a day were not significantly different ($p> 0.05$). Medium sized prawns fed 2 and 3 times a day and large sized prawns fed 2 and 3 times a day had an average nitrogen digestibility of 78.159 ± 12.809, 81.363 ± 13.565, 86.526 ± 7.434 and 88.605 ± 7.776 %, respectively. Nitrogen from the air was not significantly affected to nitrogen changes in the prawn culture system. The results of prawn cultured in the closed system for 36 days showed that nitrogen input from feed was 1.454 g / kg prawn weight/day. The average protein synthesis rate was 0.046 ± 0.011 g protein/day and 20.52 ± 4.77 % nitrogen input from feeding were converted to organic nitrogen in prawn tissue. Therefore, 79.48 ± 4.77 % of nitrogen from feed intake would be waste in the water. It was also found that prawn cultured significantly increased water turbidity, TSS and cBOD5 ($p<0.05$). The particulate nitrogen in water increased linearly with increasing chlorophyll a; $PN = (5.832\times10^{-2}) + (1.517\times10^{-3})$ CHLA.

Key words : nitrogen loading, water quality, prawn culture

[1]กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด [1]Inland Aquaculture Research and Development Division
*ผู้รับผิดชอบ:กรมประมง ๕๐ เกษตรกลาง เขตจตุจักร กรุงเทพฯ e-mail :kanchanp43@hotmail.com
*Corresponding author: Department of Fisheries, 50 Kasetklang, Chatuchak, Bangkok e-mail:kanchanp43@hotmail.com

คำนำ

กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) เป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด จัดเป็นสัตว์น้ำพื้นเมืองที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูง เนื่องจากมีความต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ตลอดจนสามารถจำหน่ายได้ในราคาสูง ในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีพื้นที่เลี้ยงกุ้งก้ามกราม 84,000 ไร่ จำนวน 5,640 ฟาร์ม มีผลผลิตกุ้งก้ามกรามจากการเพาะเลี้ยงประมาณ 21,000 ตัน มีมูลค่า 4,446 ล้านบาท โดยมีผลผลิตที่ส่งออกจ้านวน 1,859,205 กิโลกรัม มูลค่า 572,434,479 ล้านบาท ข้อได้เปรียบของการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามคือสามารถเพาะขยายพันธุ์ได้จากพ่อแม่พันธุ์ที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยง มีพื้นที่สำหรับเลี้ยงได้มากกว่ากุ้งทะเล เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเลี้ยงบริเวณชายฝั่งและไม่ต้องใช้น้ำเค็มในการเลี้ยง ประกอบกับในปัจจุบันได้มีกฎหมายห้ามเลี้ยงกุ้งทะเลในพื้นที่น้ำจืดเพื่อลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่น้ำจืด

การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามของประเทไทยเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา โดยนิยมเลี้ยงในบ่อดินขนาด 1-5 ไร่ มีการปล่อยกุ้งในอัตราหนาแน่นและให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ระยะเวลาการเลี้ยงประมาณ 8-10 เดือน ในระหว่างการเลี้ยงในช่วง 3.5 - 4 เดือน จะเริ่มทำการจับโดยคัดเอากุ้งตัวเมียที่มีไข่ และกุ้งจิ๊กโก๋ซึ่งเป็นกุ้งที่มีตัวดำแคระแกรน ออกขายก่อน หลังจากนั้นจะทำการจับและคัดขนาดกุ้งขายทุก ๆ เดือน โดยกุ้งก้ามกรามที่มีขนาด 12 - 15 ตัว/กิโลกรัม เป็นที่ต้องการของตลาด และราคาดีกว่ากุ้งก้ามกรามที่มีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม และมีการแพร่กระจายของโรคระบาด (สิทธิ, 2526) บ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่ให้ผลผลิตดีมักเป็นบ่อที่เพิ่งขุดสร้างใหม่ เมื่อเลี้ยงไปนาน ๆ ผลผลิตจะลดลง เกษตรกรบางรายจะมีการย้ายพื้นที่การเลี้ยงกุ้งทำให้สร้างปัญหามลภาวะให้กับพื้นที่ใหม่ต่อไป นอกจากนี้ยังมีปริมาณผลผลิตต่ำเนื่องจากกุ้งก้ามกรามใช้เวลาเลี้ยงนานเพื่อให้ได้กุ้งขนาดใหญ่ ประกอบกับโครงร่างที่มีน้ำหนักส่วนของหัว และก้ามมาก จึงเกาะอยู่ตามพื้นบ่อเป็นหลัก ดังนั้นหากพื้นบ่อเน่าเสียก็จะมีผลต่อการเจริญเติบโต และอัตรารอดของกุ้ง ทำให้ผลผลิตต่อไร่ของรอบการผลิตต่ำประมาณ 300-400 กิโลกรัมต่อไร่

กุ้งก้ามกรามวัยรุ่น (juvenile) ต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนอยู่ในช่วง 30-38 เปอร์เซ็นต์ (Reed and D'Abramo, 1989) เมื่อกุ้งได้รับอาหารจะมีการย่อยและดูดซึมโภชนะจากอาหารไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามการย่อยสลายโปรตีนในขบวนการเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำจะมีการปลดปล่อยของเสียได้แก่แอมโมเนียออกมาอย่างน้อย 80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมา (Millikin *et al.* , 1980) นอกจากนี้ยังมีอาหารส่วนที่ไม่ถูกย่อย และส่วนที่ได้รับมากเกินกว่าจะสะสมในร่างกายได้ เช่น โปรตีนและกรดอะมิโนซึ่งจะถูกขับออกจากตัวกุ้งลงสู่น้ำ

ไนโตรเจนที่เข้าไปในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะไปเพิ่มมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อม โดยส่วนมากมาจากของเสียจากอาหารและสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นแร่ธาตุและไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การย่อยสารอินทรีย์ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบโดยจุลินทรีย์ทำให้เกิดแอมโมเนียอิสระ (NH_3-N) และไนไตรท์ (NO_2-N) มากขึ้น สารประกอบทั้งสองนี้เป็นพิษต่อสัตว์น้ำในระดับความเข้มข้นต่ำ (Anger, 1989) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น (Anger, 1989; Brennan, 1999) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการไหลเข้าของไนโตรเจน ตลอดจนการสะสมและการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในระบบการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม จะนำไปสู่การจัดการเกี่ยวกับสารอินทรีย์ไนโตรเจนในบ่อที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดจากการสะสมและการเน่าสลายของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการจัดการระบบเลี้ยงให้มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ตลอดจนลดผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียออกไปสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อพัฒนาระบบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่มีคุณภาพอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการไหลเข้าและการสะสมของไนโตรเจนที่เป็นของเสียจากตัวกุ้งก้ามกรามและจากอาหาร
2. เพื่อศึกษาไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากอากาศ
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในน้ำ คุณภาพน้ำ และแพลงก์ตอนในระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปิด

วิธีดำเนินนการ

1. การศึกษาการไหลเข้าและการสะสมของไนโตรเจนที่เป็นของเสียจากตัวกุ้งก้ามกรามและจากอาหาร

1.1 การศึกษาการขับถ่ายแอมโมเนียออกทางเหงือกของกุ้งก้ามกราม

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) มี 2 การทดลอง (treatment) การทดลองที่ 1 (T1) ให้กุ้งอดอาหารก่อนการทดลอง 12 ชั่วโมง และการทดลองที่ 2 (T2) ให้กุ้งเพิ่งได้รับอาหารก่อนการทดลองเริ่มขึ้น การทดลองละ 10 ซ้ำ (10 ตู้)

เตรียมตู้ทดลองเป็นตู้กระจกขนาด 25×20×30 เซนติเมตร จ้านวน 20 ตู้ ใส่น้ำสะอาดซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว 10 ลิตร แต่ละตู้มีการให้อากาศที่ผ่านการกรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.2 ไมครอน นำกุ้งที่เตรียมไว้ขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 66.90±0.99 กรัม สุ่มกุ้งก้ามกรามใส่ตู้ละ 1 ตัว การทดลองที่ 1 ไม่ให้อาหารก่อนสุ่มปล่อยลงตู้ การทดลองที่ 2 ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งก้ามกรามที่มีโปรตีนเฉลี่ย 32.60±0.14% โดยให้กินจนอิ่มก่อนสุ่มปล่อยในตู้ทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละตู้ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียก่อนใส่กุ้ง และหลังใส่กุ้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง โดยน้ำตัวอย่างจะถูกนำไปกรองผ่านแผ่นกรอง (membrane filters) ขนาด 0.45 ไมครอน แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) โดยวิธี Modified Indophenol Blue เพื่อตรวจสอบปริมาณแอมโมเนียสะสมที่ได้จากการขับออกทางเหงือกกุ้งที่อดอาหาร และกุ้งที่ได้รับอาหาร 1 มื้อ คำนวณอัตราการขับแอมโมเนียออกทางเหงือก (Gill excretion rate, ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักเปียกกุ้ง/ชั่วโมง)

นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายแบบไม่ปกติ จะทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้มีการกระจายแบบปกติก่อนนำไปวิเคราะห์ตามวิธีใน Zar (1984) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขับแอมโมเนียออกทางเหงือกกับระยะเวลาหลังการกินอาหาร โดยวิธีวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's formula for Correlation coefficient) หากพบว่ามีความสัมพันธ์กันจะนำข้อมูลไปวิเคราะห์สมการถดถอย (regression) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาหลังการกินอาหารกับอัตราการขับแอมโมเนียออกทางเหงือก

1.2 การศึกษาการสูญเสียของอาหาร และโภชนะที่ละลายลงสู่น้ำ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มี 5 การทดลอง (treatment) แต่ละการทดลองมี 3 ซ้ำ นำอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งก้ามกรามที่มีโปรตีนเฉลี่ย 32.60±0.14 % ปริมาณ 50 กรัม แช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตร เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กันคือ 0, 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง จากนั้นช้อนอาหารไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักอาหารแห้งที่เหลือนำไปคำนวณปริมาณอาหารที่สูญเสียไปในน้ำในเวลาต่าง ๆ กัน นำอาหารทดลองและอาหารที่เหลือไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาสัดส่วนของโภชนะในอาหารได้แก่ โปรตีน (ไนโตรเจน) ไขมัน และเยื่อใย โดยวิธี Proximate analysis (AOAC, 2010) คำนวณโภชนะที่สูญเสียจากการสูญหายของน้ำหนักอาหาร และโภชนะที่สูญเสียในอาหารที่เหลือ นำข้อมูลไปวิเคราะห์อัตราการสูญเสียน้ำหนักอาหารต่อชั่วโมง ความคงทนของอาหาร เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่สูญเสียจากอาหารที่เหลืออยู่ อัตราการสูญเสียโปรตีนต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ไขมันที่สูญเสียจากอาหารที่เหลืออยู่ และอัตราการสูญเสียไขมันต่อชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำ

ของแต่ละการทดลองไปวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ ได้แก่การตรวจสอบอุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส (pH) ค่าความขุ่นใส (Transparency) ความขุ่นนของน้ำ (Turbidity) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS) วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (Total Ammonia Nitrogen, TAN) ไนไตรท์ (Nitrite) ไนเตรท (Nitrate) ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-phosphate) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP) ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอนิทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะมีออกซิเจนที่ระยะเวลา 5 วัน (Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand, cBOD5) ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์เพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลปฏิกิริยาสุดท้าย (Chemical Oxygen Demand, COD) ผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, TN) และไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Nitrogen, DN) ตามวิธีใน APHA, AWWA and WPCF (1995) วิเคราะห์ค่าความคงทนของอาหารในน้ำเมื่ออาหารแช่อยู่ในน้ำเป็นระยะเวลา 0.5, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของเนื้ออาหารสู่น้ำ (ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้ง) ที่เวลาต่าง ๆ กัน และศึกษาสารอาหารที่ละลายจากอาหารลงสู่น้ำ โดยนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3-N) ไนไตรท์ (NO_2-N) และ ไนเตรท (NO_3-N)

นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายแบบไม่ปกติ จะทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้มีการกระจายแบบปกติก่อนนำไปวิเคราะห์ตามวิธีใน Zar (1984) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำกับอัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากอาหารโดยวิธีวิเคราะห์สหสัมพันธ์และตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากพบว่ามีความสัมพันธ์กันสูงจะนำไปวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำกับอัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากการสูญเสียน้ำหนักอาหาร สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำกับอัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากอาหารที่เหลือ และสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำกับอัตราการสูญเสียไนโตรเจนรวม (Total nitrogen, TN) จากอาหารลงสู่น้ำ ซึ่งเป็นปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเลี้ยงจากการสูญเสียอาหาร

1.3 การศึกษาการขับถ่ายของเสียไนโตรเจน และประสิทธิภาพการย่อยอาหารของกุ้งก้ามกราม

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มี 4 การทดลอง (treatment) การทดลองละ 10 ซ้ำ ศึกษาการขับถ่ายของเสียของกุ้งก้ามกรามซึ่งเป็นผลมาจากการกินอาหาร โดยทำการทดลองกับกุ้งก้ามกราม 2 ขนาด คือกุ้งก้ามกรามขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่มีความถี่ในการให้อาหารต่าง ๆ กัน คือ 2 และ 3 มื้อ/วัน

เตรียมกุ้งทดลองโดยนำกุ้งก้ามกรามขนาดกลางที่มีน้ำหนักประมาณ 90-100 กรัม และกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักประมาณ 150-160 กรัม ไปเลี้ยงในบ่อไฟเบอร์ขนาด 90 ลิตร ที่มีระบบน้ำไหลหมุนเวียนตลอดเวลา โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 300 มล./นาที ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งก้ามกรามที่มีโปรตีนเฉลี่ย 32.60±0.14% วันละ 2 ครั้ง เลี้ยงเป็นระยะเวลาเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนการทดลองเพื่อปรับสภาพกุ้ง

สุ่มกุ้งก้ามกรามขนาดกลางน้ำหนักเฉลี่ย 93.76±3.84 กรัม/ตัว และกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่น้ำหนักเฉลี่ย 157.38±5.84 กรัม/ตัว ลงในตู้ทดลองซึ่งเป็นตู้กระจกขนาด 45×60×18 ซม. ใส่น้ำปริมาตร 48.6 ลิตร โดยใส่กุ้งก้ามกรามตู้ละ 1 ตัว ให้อากาศตลอดเวลาโดยใช้แอร์ปั๊มมีหัวทรายตู้ละ 1 หัว ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งก้ามกรามชนิดเม็ดจมที่มีโปรตีนเฉลี่ย 32.60±0.14% โดยมีความถี่ในการให้อาหารต่างกัน คือ 2 และ 3 มื้อ/วัน กุ้งก้ามกรามที่ให้อาหาร 2 มื้อ/วัน ให้อาหารเวลา 09.00 น. และ 14.00 น. สำหรับกุ้งก้ามกรามที่ให้อาหาร 3 มื้อ/วัน ให้อาหารเวลา 09.00 น. 14.00 น. และ19.00 น. โดยวิธีให้กินจนอิ่ม (Satiation) การทดลองละ 10 ซ้ำ (10 ตู้) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 3 เดือน ทำการบันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้และวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำทุกวันจนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำ ตลอดจนทำการศึกษาของเสียจากสิ่งขับถ่ายของกุ้งก้ามกรามโดยการวิเคราะห์ปริมาณสิ่งขับถ่ายในรูปของแข็ง อัตราการขับถ่ายมูล

ของกุ้งก้ามกราม อัตราการกินอาหาร (daily feed intake, % น้ำหนักกุ้ง/วัน) ปริมาณการกินอาหารต่อวัน (daily feed ration, กรัมอาหาร/กิโลกรัมน้ำหนักกุ้ง/วัน), ปริมาณโปรตีนที่กุ้งก้ามกรามได้รับจากการกินอาหาร (กรัม/น้ำหนักกุ้ง 1 กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไนโตรเจนที่กุ้งกิน (กรัม/น้ำหนักกุ้ง 1 กิโลกรัม/วัน) และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์อาหารที่กิน วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในมูลที่กุ้งขับออกสู่น้ำ โดยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2010) แล้วนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของไนโตรเจนในอาหาร (Nitrogen digestibility, $\%N_{dig}$) และวิเคราะห์โภชนะจากสิ่งขับถ่ายที่ละลายน้ำโดยตรวจสอบปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด ไนไตรท์ ไนเตรท ผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน (TKN) ออร์โธฟอสเฟต ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด บีโอดี และ ซีโอดี นำปริมาณทีเคเอ็น (TKN) ซึ่งเป็นผลรวมของแอมโมเนียไนโตรเจนและสารอินทรีย์ไนโตรเจน มาคำนวณปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนตามวิธีในมั่นสิน (2543)

นำข้อมูลไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไนโตรเจนในน้ำที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในรอบวัน ได้แก่ สารอินทรีย์ไนโตรเจน ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ตลอดจนปริมาณของเสียต่อวันที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยให้อาหาร 2 และ3 มื้อ/วัน ได้แก่ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ทีเคเอ็น ออร์โธฟอสเฟต และฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักกุ้ง/วัน) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่มี 2 การทดลอง (treatment) ไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Independent T-Test สำหรับการทดลองที่มีมากกว่า 2 การทดลอง นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-way Analysis of Variance) และทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยข้อมูลที่มีการกระจายแบบไม่ปกติจะทำการแปลงข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ตามวิธีใน Zar (1984)

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากอากาศ

ทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดกลางน้ำหนักเฉลี่ย 93.76±3.84 กรัม และกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่น้ำหนักเฉลี่ย 157.38±5.84 กรัม ในตู้กระจกขนาด 45×60×18 ซม. เติมน้ำกลั่น 30 ลิตร ใส่กุ้งตู้ละ 1 ตัว แบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในตู้ที่มีฝาปิดสนิทที่อากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ และการทดลองที่ 2 เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในตู้ที่ไม่มีฝาปิด การทดลองละ 10 ซ้ำ (10 ตู้) ตรวจสอบปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และฟอสฟอรัสในน้ำเมื่อเริ่มต้นการทดลอง และทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง

นำข้อมูลปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และฟอสฟอรัสในน้ำจากตู้ทดลองแบบปิด และตู้ทดลองแบบเปิดไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Independent T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ของน้ำในตู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดกลางและขนาดใหญ่ ที่มีและไม่มีอากาศเข้าสู่ระบบ

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน คุณภาพของน้ำ และแพลงก์ตอนพืชในระบบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปิด

ทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในบ่อไฟเบอร์กลาสเพื่อจำลองการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในบ่อดินระบบปิด โดยเตรียมบ่อไฟเบอร์กลาสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เมตร สูง 0.8 เมตร จำนวน 6 บ่อ ใส่ดินที่ก้นบ่อหนา 10 เซนติเมตร ใส่น้ำ 1,500 ลิตร/บ่อ เติมอากาศลงในน้ำตลอดเวลา ใส่หัวทรายที่ให้อากาศบ่อละ 1 หัว โดยใช้แอร์ปั๊ม ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง เติมแพลงก์ตอนพืชที่ได้จากบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามลงในบ่อทดลอง ให้มีความหนาแน่นเริ่มต้นของแพลงก์ตอน 2×10^7 เซลล์/ลิตร

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มี 2 การทดลอง (treatment) แต่ละการทดลองมี 3 ซ้ำ (3 บ่อ) การทดลองที่ 1 สุ่มกุ้งก้ามกรามขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 24.87± 1.06 กรัมต่อตัว ใส่ลงบ่อทดลองจำนวน 15 ตัวต่อบ่อ การทดลองที่ 2 ไม่ใส่กุ้งก้ามกราม โดยการทดลองที่ 1 ซึ่งใส่กุ้งก้ามกรามเลี้ยงโดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 32.61±0.20 % ในอัตรา 3% ของน้ำหนักกุ้ง ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เวลา 09.00 น. และ 19.00 น. โดยแบ่งให้มื้อละ 50% ของอัตราการให้อาหารในแต่ละวัน สำหรับการทดลองที่ 2 ไม่ใส่กุ้งก้ามกรามและไม่ให้

อาหาร วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ของกุ้งเมื่อเริ่มทดลองตามวิธีการของ AOAC (2010) ทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 36 วัน ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อทดลองทุก ๆ 4 วัน เวลา 09.00 น. ก่อนการให้อาหารตลอดระยะเวลาทดลอง ได้แก่การตรวจวัดอุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัสทั้งหมด บีโอดี ผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนที่ละลายน้ำ วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในอนุภาคที่อยู่ในน้ำ (Particulate Nitrogen, PN) และวิเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll *a*) โดยการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรอง (GF/F) ขนาด 0.45 ไมครอน ย่อยในสารละลายอะซีโตนเข้มข้น 90% อ่านค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 750 และ 664 นาโนเมตร

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำผลผลิตกุ้งทุกตัวไปตรวจสอบการเจริญเติบโต โดยการชั่งหนักสุดท้าย คำนวณอัตรารอด และน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย คำนวณปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงจากการให้อาหาร จากนั้นนำผลผลิตกุ้งที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และองค์ประกอบของไนโตรเจนในตัวกุ้ง จากนั้นนำข้อมูลของกุ้งก้ามกรามไปวิเคราะห์น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งต่อวัน น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้นต่อบ่อ ไนโตรเจนในกุ้งที่เพิ่มขึ้น ไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากอาหาร เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนจากอาหารที่เปลี่ยนเป็นผลผลิตกุ้งและอัตราการสังเคราะห์โปรตีนของกุ้ง นำข้อมูลอัตราความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอและปริมาณอนุภาคไนโตรเจนในน้ำโดยวิธีวิเคราะห์สหสัมพันธ์ หากพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันจะนำข้อมูลไปวิเคราะห์การถดถอย เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับอนุภาคไนโตรเจนในน้ำ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกรามได้แก่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน (TKN) ที่สะสมในน้ำและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่ใส่กุ้ง นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Independent T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาการไหลเข้าและการสะสมของไนโตรเจนที่เป็นของเสียจากตัวกุ้งก้ามกรามและจากอาหาร

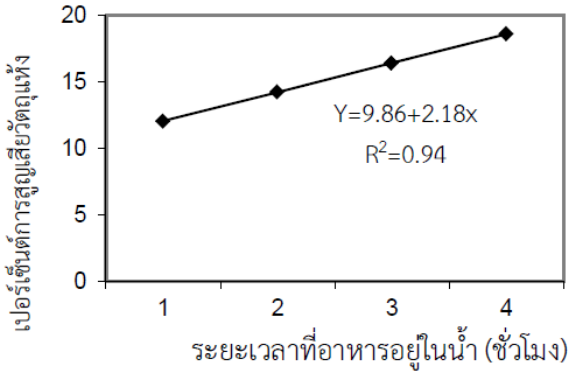
1.1 ผลการศึกษาการขับถ่ายแอมโมเนียออกทางเหงือกของกุ้งก้ามกราม

กุ้งก้ามกรามที่ได้กินอาหารมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียออกทางเหงือกหลังการกินอาหาร 1 ชั่วโมง สูงกว่ากุ้งก้ามกรามที่อดอาหารประมาณ 4.6 เท่าเมื่อนำอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียออกทางเหงือกของกุ้งที่อดอาหารไปลบออกจากอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของกุ้งที่ได้รับอาหาร 1 มื้อ พบว่าหลังจากการกินอาหารเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง กุ้งก้ามกรามมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียจากการกินอาหาร 1 มื้อ เฉลี่ย 14.58±3.33, 7.29±1.66, 7.28±0.97 และ 5.67±0.89 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักกุ้ง/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยในชั่วโมงแรกหลังจากกินอาหาร กุ้งก้ามกรามมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียออกทางเหงือกสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่าอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียออกทางเหงือกของกุ้งมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับระยะเวลาหลังการกินอาหาร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r=-0.939$ ได้สมการความสัมพันธ์คือ อัตราการขับแอมโมเนียจากการกินอาหาร 1 มื้อ (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักกุ้ง/ชั่วโมง) = 13.654 - 6.299 ln (ระยะเวลาหลังการกินอาหาร,ชั่วโมง) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.881

1.2 ผลการศึกษาการสูญเสียของอาหาร และโภชนะที่ละลายลงสู่น้ำ

ผลการทดลองนำอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งก้ามกรามแช่ในน้ำพบว่าอาหารกุ้งก้ามกรามมีการละลายลงสู่น้ำมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าในครึ่งชั่วโมงแรกมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก

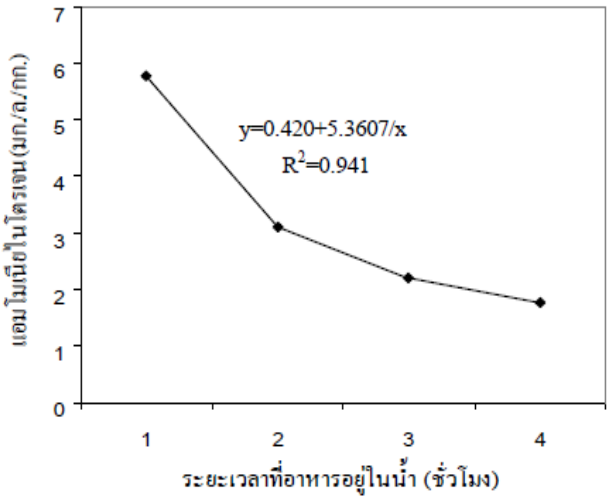
อาหารต่อชั่วโมงสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เฉลี่ย 20.97±0.06, กรัม/100 กรัมอาหาร/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้ง โดยมีค่า r เท่ากับ 0.972 ได้สมการความสัมพันธ์คือเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้ง = 9.863 + 2.180 × จำนวนชั่วโมงที่อาหารอยู่ในน้ำ โดยมีค่า R^2=0.944 และ P-value=0.028 โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่อาหารแช่อยู่ในน้ำนานขึ้น



ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้งกับระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำ (ชั่วโมง)

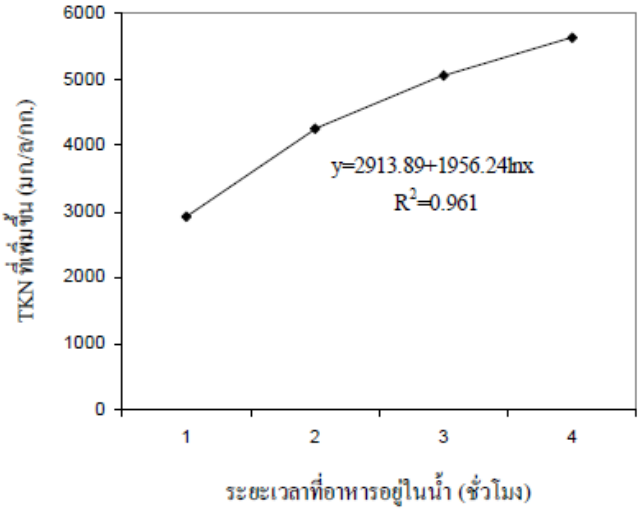
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองเริ่มต้น พบว่ามีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 92.91±0.04% ความชื้นเฉลี่ย 7.09±0.04% ไขมันเฉลี่ย 4.80±0.13% เยื่อใยเฉลี่ย 3.30±0.51% และ โปรตีนเฉลี่ย 32.60±0.14% โดยมีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 5.220±0.020 กรัม/100 กรัมอาหาร เมื่ออาหารอยู่ในน้ำเป็นระยะ 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าโภชนะที่สำคัญในอาหารกุ้งได้แก่โปรตีนมีการสูญเสียลงไปในน้ำมากขึ้น ในขณะที่อาหารที่เหลืออยู่มีสัดส่วนของเยื่อใยในอาหารสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาแช่นานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไนโตรเจนเฉลี่ย 12.642±0.302, 15.905±1.063, 20.076±0.791 และ 26.897±0.920 % ไนโตรเจนเริ่มต้นตามลำดับ (ตารางที่ 4) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไนโตรเจนรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่ออาหารอยู่ในน้ำนานขึ้น และพบว่าระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไนโตรเจนจากอาหารลงสู่น้ำ ($\%TNL_f$) โดยมีค่า r = 0.972 ได้สมการความสัมพันธ์คือ $\%TNL_f$ = 9.865 + (2.179 × จำนวนชั่วโมงที่อาหารอยู่ในน้ำ) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.944 และ P-value=0.028

นอกจากนี้ยังพบว่ามีอาหารอยู่ในน้ำเป็นระยะเวลา 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) ความขุ่นของน้ำ (TUR) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่ออาหารอยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยมีค่า TSS เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 99.83±0.29, 154.21±7.94, 232.59±29.09 และ 464.44±30.82 มิลลิกรัม/ลิตร/กิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ มี TUR เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3,482.60±63.28, 3,697.96±64.42, 4,274.22±85.84 และ 4,592.41±141.24 NTU/กิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ มี TDS เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 998.34±2.87, 1,177.22±70.34, 1,495.02±4.31 และ 1,824.25±287.44 มิลลิกรัม/ลิตร/กิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ สำหรับปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำ (TAN) มีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในครึ่งชั่วโมงแรกที่อาหารอยู่ในน้ำ มีค่าเฉลี่ย 11.696±0.652 มิลลิกรัม/ลิตร/กิโลกรัมอาหาร ต่อมามีแนวโน้มลดลงเมื่ออาหารแช่อยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้น และพบว่าระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN) ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่า r = -0.970 ได้สมการความสัมพันธ์คือ TAN ที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น = 0.0420 + 5.3607/จำนวนชั่วโมงที่อาหารอยู่ในน้ำ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.941 และ P-value=0.030



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TAN กับระยะเวลาทีอ่าหารอยู่ในน้ำ

ในครึ่งชั่วโมงแรกที่อาหารแช่อยู่ในน้ำมีปริมาณออร์โธฟอสเฟต และฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเพิ่มขึ้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เฉลี่ย 100.73±7.37 และ 110.40±12.44 มิลลิกรัม/ลิตร/กิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ ต่อมามีแนวโน้มลดลงเมื่ออาหารแช่อยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้น ในขณะที่ปริมาณบีโอดี และผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน (TKN) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่ออาหารอยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้น และพบว่าระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณ TKN โดยมีค่า r = 0.980 ได้สมการความสัมพันธ์คือ TKN (มิลลิกรัม/ลิตร/กิโลกรัมอาหาร) = 2913.89 + 1956.24 lnx โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.961 และ P-value เท่ากับ 0.019



ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างTKN กับระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำ

1.3 ผลการศึกษาการขับถ่ายของเสียไนโตรเจน และประสิทธิภาพการย่อยอาหารของกุ้งก้ามกราม

กุ้งก้ามกรามขนาดกลาง มีปริมาณมูลต่อน้ำหนักอาหารที่กินสูงกว่ากุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และการให้อาหารความถี่ต่างกันในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดกลางไม่มีผลต่อปริมาณมูลที่ขับถ่าย ($p>0.05$) ในขณะที่กุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่ที่ได้รับอาหาร 2 มื้อต่อวัน มีปริมาณมูลที่ขับถ่ายสูงกว่าการให้อาหาร 3 มื้อต่อวัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 90.61-97.33% ซึ่งสูงกว่ากุ้งก้ามกรามขนาดเล็กที่มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งอยู่ในช่วง 85.05-87.44) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่ โดยให้อาหารวันละ 3 ครั้ง มีค่าเฉลี่ย 391.72±134.01 มก./กุ้งก้ามกราม 1 กก./วัน ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดกลางที่ให้อาหารวันละ 2 และ 3 ครั้ง และกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่ ที่ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่โดยให้อาหาร 3 มื้อ/วัน มีค่าสูงกว่าการให้อาหารวันละ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 391.72±134.01 มก./กุ้งก้ามกราม 1 กก./วัน ผลการตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในรอบวันพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีสัดส่วนลดลงในขณะที่ปริมาณแอมโมเนียมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น โดยสารประกอบไนโตรเจนในน้ำหลังจากให้อาหารมื้อแรกเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้ทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดกลางโดยให้อาหาร 2 มื้อ/วัน มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน 83.89% แอมโมเนีย 1.03±0.27 ไนไตรท์ 1.83±0.32% และ ไนเตรท 13.23±1.16% น้ำในตู้ที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดกลางโดยให้อาหาร 3 มื้อ/วัน ประกอบด้วยสารอินทรีย์ไนโตรเจน 89.62±2.27% แอมโมเนีย 0.42±0.21% ไนไตรท์ 1.86±0.78% และไนเตรท 8.09±2.75% น้ำในตู้ทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่โดยให้อาหาร 2 มื้อ/วัน ประกอบด้วยสารอินทรีย์ไนโตรเจน 91.23±5.31 % อนินทรีย์ไนโตรเจนได้แก่แอมโมเนีย 4.20±2.93% ไนไตรท์ 1.26±0.25% และไนเตรท 3.31±1.19% น้ำในตู้ทดลองที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่โดยให้อาหาร 3 มื้อ/วัน ประกอบด้วยสารอินทรีย์ไนโตรเจน 77.80±5.31% แอมโมเนีย 22.20±5.31% ไนไตรท์ 1.01±0.63% และไนเตรท 2.63±0.26 %

2. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบจากอากาศ

การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามทั้งขนาดกลาง และขนาดใหญ่ในตู้ที่ปิดฝาไม่มีอากาศผ่านเข้าออก และตู้ที่เปิดฝามีอากาศผ่านเข้าออกได้มีปริมาณไนโตรเจนที่ละลายน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาที่ตรวจสอบ 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับปริมาณฟอสฟอรัสของทุกการทดลองที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

3. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน คุณภาพของน้ำ และแพลงก์ตอนพืชในระบบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปิด

ผลการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 24.87± 1.06 กรัม/ตัว โดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีโปรตีนเฉลี่ย 32.61±0.20% ไขมัน 4.79±1.34% เยื่อใย 3.30± 0.51% และความชื้น 7.08± 0.04 % เปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่มีกุ้งก้ามกราม เมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 36 วัน พบว่ากุ้งก้ามกรามมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 34.43±2.22 กรัม/ตัว และมีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย 9.56±2.22 กรัม/ตัว โดยมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.27±0.06 กรัม/วัน ได้ผลผลิตกุ้ง 516.43±33.34 กรัม/บ่อ ดังนั้นจึงมีน้ำหนักกุ้งที่ เพิ่มขึ้น 143.38±33.34 กรัม/บ่อ เมื่อนำผลผลิตกุ้งที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าตัวกุ้ง (น้ำหนักสด) มีความชื้น 80.12% เมื่อวิเคราะห์จากน้ำหนักแห้งพบว่าตัวกุ้งมีองค์ประกอบของโปรตีน 88.27% ไขมัน 3.17% เยื่อใย 1.74% และเถ้า 6.82% โดยมีองค์ประกอบของไนโตรเจนในตัวกุ้งเท่ากับ 14.12% ของน้ำหนักแห้ง และมีอัตราการสังเคราะห์โปรตีนเฉลี่ย 0.046±0.011 กรัมโปรตีน/วัน ผลผลิตกุ้งก้ามกรามมีไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.268±0.062 กรัม/ตัว โดยไนโตรเจนจากการให้อาหารถูกเปลี่ยนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนในผลผลิตกุ้งเฉลี่ย 20.52±4.77% ดังนั้นจึง

มีไนโตรเจนจากอาหารที่สูญเสียเป็นของเสียในน้ำเฉลี่ย 79.48±4.77% เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่มีกุ้งก้ามกราม พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) ต่อมาเมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 36 วัน พบว่าปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท TKN ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำ (TN) และไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (dissolve nitrogen, DN) ในบ่อที่มีการเลี้ยงกุ้งมีค่าสูงกว่าในบ่อที่ไม่มีกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยบ่อที่เลี้ยงกุ้งมีปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท TKN TN และ DN สะสมในน้ำเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ย 0.121±0.018 มิลลิกรัม/ลิตร 0.545±0.068 มิลลิกรัม/ลิตร 7.606±0.465 มิลลิกรัม/ลิตร 0.645±0.136 มิลลิกรัม/ลิตร 8.350±0.501 มิลลิกรัม/ลิตร และ 8.022±0.484 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อที่เลี้ยงกุ้งประกอบด้วยไนโตรเจนทีล่ะลายน้ำในสัดส่วนที่สูงถึง 96.07% และพบว่าน้ำในบ่อที่เลี้ยงกุ้งมีปริมาณ TSS และ BOD สูงกว่าบ่อที่ไม่มีกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 155.00±15.56 มิลลิกรัม/ลิตร 6.27±0.54 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 36 วัน ในขณะที่ pH ของน้ำ และปริมาณออกซิเจน ความเป็นด่าง และความกระด้าง ของน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตลอดระยะเวลาเลี้ยง 36 วัน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอนพืช โดยการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ พบว่าการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในน้ำโดยน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นสูงกว่าน้ำในบ่อที่ไม่ได้เลี้ยงกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีปริมาณเฉลี่ย 253.00±36.77 ไมโครกรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 36 วัน เช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจนในอนุภาคที่อยู่ในน้ำ (PN) มีค่าสูงกว่าในบ่อที่ไม่ได้เลี้ยงกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ตารางที่ 24) โดยมีปริมาณเฉลี่ย 0.328±0.018 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 36 วัน และพบว่าปริมาณไนโตรเจนในอนุภาคมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ โดยมีค่า $r = 0.809$ โดยความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยไนโตรเจนในอนุภาคมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้สมการความสัมพันธ์คือ $PN = (5.832\times10^{-2}) + (1.517\times10^{-3})$ CHLA โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.655 และ P-value = 0.000 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 1.517×10^{-3} ซึ่งหมายถึงเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอมีค่าเพิ่มขึ้น 1 ไมโครกรัม/ลิตร น่าจะเป็นผลให้ไนโตรเจนในอนุภาคเพิ่มขึ้นประมาณ 1.517×10^{-3} มิลลิกรัม/ลิตร

วิจารณ์ผล

กุ้งก้ามกรามที่ได้กินอาหารมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียหลังการกินอาหาร 1 ชั่วโมง สูงกว่ากุ้งก้ามกรามที่อดอาหารประมาณ 4.6 เท่า สอดคล้องกับการศึกษากับกุ้งหลายชนิดเช่น Penaeus setiferus, P. schmitti, P. duorarum P. notialis และ Penaeus japonicus ที่พบว่ากุ้งที่ได้กินอาหารมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียสูงกว่ากุ้งที่อดอาหารอดอาหาร 2-11.5 เท่า (Koshio *et al*., 1993; Rosas *et al*., 1999) ซึ่งโดยทั่วไปการขับถ่ายแอมโมเนียออกทางเหงือกของสัตว์น้ำมีปริมาณ 60-90% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์น้ำขับถ่าย (Hagopian and Riley, 1998)

ผลการศึกษาการสูญเสียของอาหารและโภชนะเมื่ออาหารตกลงสู่น้ำพบว่าอาหารอยู่ในน้ำนานขึ้น มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น เป็นผลให้มีไนโตรเจนละลายลงสู่น้ำจึงท้าให้มีปริมาณไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในอาหารลดลง ในขณะที่ไนโตรเจนในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณของเสียอื่น ๆ ในน้ำได้แก่ TSS ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ความขุ่นนของน้ำ และผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน (TKN) มีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่อาหารอยู่ในน้ำนานขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียเนื้ออาหารและโภชนะจากอาหารละลายลงสู่น้ำเพิ่มขึ้น โดยการสูญเสียของอาหารลงสู่น้ำก่อให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ในน้ำ โดย Burford and Williams (2001) กล่าวว่าสารประกอบที่สูญเสียจากอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่สูญเสียจากอาหารลงสู่น้ำ ผลการทดลองในครั้งนี้จึงพบว่าอัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากอาหาร

มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารอยู่ในน้ำนานขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะมีออกซิเจน และเกิดการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ส่งผลให้ค่าบีโอดี และซีโอดีมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารอยู่ในน้ำนานขึ้น โดย Funge-Smith and Briggs, (1998) กล่าวว่าไนโตรเจนส่วนหนึ่งอาจสูญหายออกไปหรือตกลงไปเป็นตะกอน โดยไนโตรเจนที่เข้าไปในบ่อเลี้ยงส่วนหนึ่งจะตกลงไปเป็นตะกอนประมาณ 24% และส่วนใหญ่จะสูญหายไปจากระบบโดยการระเหยในรูปของแก๊สไนโตรเจน และแอมโมเนีย สูงถึง 30% (Funge-Smith and Briggs, 1998) จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าอาหารกุ้งก้ามกรามที่แช่อยู่ในน้ำเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไนโตรเจนรวมเฉลี่ย 26.897±0.920%

ประสิทธิภาพการย่อยไนโตรเจนของกุ้งก้ามกรามขนาดกลางและกุ้งก้ามกรามขนาดใหญ่ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ค่อนข้างสูงคือ 78.16-88.60% เมื่อเปรียบเทียบกับปลาซัลมอนที่มีประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนเพียง 58% ของน้ำหนักแห้งไนโตรเจนในอาหารที่ปลากิน โดยประมาณหนึ่งส่วนสี่ของอาหารที่ปลากินจะถูกขับถ่ายออกมาในรูปของมูลปลา (Rychly and Spannhof, 1979) และอินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียในกระบวนการ ammonification โดยแบคทีเรียในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน ซึ่งต่อมาถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียในกระบวนการ nitrification ได้ไนไตรท์ (Funge-Smith and Briggs, 1998; Hagopian and Riley, 1998) จึงพบว่าปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ในน้ำที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีแอมโมเนียไนโตรเจนที่สูญเสียจากอาหารและการขับถ่ายของกุ้ง สะสมเป็นของเสียในน้ำเพิ่มขึ้น ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) และปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (COD) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาเลี้ยง เนื่องจากมีของเสียจากอาหารละลายลงสู่น้ำ จึงมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นจากการที่แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์และการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ เช่นเดียวกันกับข้อมูลคุณภาพของน้ำในฟาร์มเลี้ยงกุ้งที่พบว่ามีปริมาณบีโอดีและซีโอดีเพิ่มขึ้น (Teichert-Coddington *et al.*, 2000)

ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในภาชนะปิดและภาชนะเปิดมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการผ่านเข้าออกของอากาศจึงมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกราม สอดคล้องกับรายงานของ El Samra and Olah (1979) และ Lin *et al.* (1988) ที่พบว่าไนโตรเจนจากอากาศอาจยกเว้นหรือมองข้ามไปได้ในการคิดโมเดลของการเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ ดังนั้นไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจึงมาจากอาหารที่ย่อยสลาย และสิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้ง

ไนโตรเจนจากการให้อาหาร ถูกเปลี่ยนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนในผลผลิตกุ้งในอัตราเฉลี่ย 20.52±4.77% ใกล้เคียงกับผลการเลี้ยงกุ้งทะเลที่พบว่ามีเพียง 21% ของไนโตรเจนจากการให้อาหารที่ถูกเปลี่ยนเป็นผลผลิตกุ้ง (Sun and Boyd, 2013) Nunes and Parsons (1998) กล่าวว่าอาหารที่ให้กุ้งในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนามีการสูญเสียเป็นส่วนใหญ่ สารอาหารประมาณ 17% เท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนเป็นผลผลิต โดยอาหารที่สูญเสียส่วนใหญ่ตกลงไปเป็นตะกอนและของเสียในน้ำ สำหรับไนโตรเจนจากอาหารที่ให้พบว่ามีเพียงประมาณ 25% เท่านั้นที่ปลาใช้ในการเจริญเติบโต (Boyd, 1985) และมีประมาณ 20-40% ที่ถูกเปลี่ยนเป็นผลผลิตกุ้ง (Briggs and Funge-Smith, 1994; Paez-Osuna *et al.*, 1997; Teichert-Coddington *et al.*, 2000; Wahab *et al.*, 2003) ไนโตรเจนจากอาหารส่วนใหญ่สูญเสียไปเป็นไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (dissolved nitrogen) ได้สูงถึง 85% ที่เหลือจะอยู่ในรูปของแข็ง (Pillay, 1992) โดยการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในครั้งนี้มีไนโตรเจนจากอาหารที่สูญเสียเป็นของเสียในน้ำสูงถึง 79.48±4.77%

แอมโมเนียและไนไตรท์มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำ โดยมีผลไปลดประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนของเลือดและทำลายเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ (Lawson, 1995) โดยแอมโมเนียที่ระดับ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร มีความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันกับปลาซัลมอน ไนไตรท์ที่ระดับความเข้มข้น 1.8 มิลลิกรัม/ลิตร มีผลท้าให้ปลาเรนโบว์เทราท์ (*Oncorhynchus mykiss*) ตายได้ภายใน 24 ชั่วโมง (Hagopian and Riley, 1998) จากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าแอมโมเนียในน้ำที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามอยู่ในช่วง 0.024-0.203 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่ไนไตรท์มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.521-1.678 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งต่ำกว่าระดับที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่อปลา อย่างไรก็ตามแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกลดลงโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

โดยแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ (van Rajin, 1996; van Rajin *et al*., 2006) และแอมโมเนียส่วนหนึ่งจะถูกแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ (Boyd and Tucker, 1998) นอกจากนี้โดยทั่วไปไนไตรทจะไมสะสมอยูในน้ำ เนื่องจากไนไตรทที่ได้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Hagopian and Riley, 1998) สำหรับไนเตรท เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำที่สุด โดยค่า 96-h LC50 ตอสัตว์น้ำจะสูงกว่า 1000 มิลลิกรัม/ลิตร (Pierce *et al*., 1993 อ้างตาม Boyd and Tucker, 1998) จึงมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำค่อนข้างน้อย จากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่ามีไนเตรทที่สะสมในน้ำจากการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเป็นระยะเวลา 36 วัน เพิ่มขึ้นโดยมีปริมาณเฉลี่ย 7.606±0.465 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ต่ำกว่าระดับที่เป็นพิษ

น้ำในบ่อที่เลี้ยงกุ้งมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าน้ำในบ่อที่ไม่ได้เลี้ยงกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 83.00-416.00 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งเชิงพาณิชย์ของ Texas Natural resource conservation commission ที่กำหนดให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเพียง 30 มิลลิกรัม/ลิตร (McIntosh *et al*., 2001) ดังนั้นน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่ไม่มีการใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ควรได้รับการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ค่าบีโอดีในน้ำที่มีการเลี้ยงกุ้งมีค่าสูงกว่าในบ่อทดลองที่ไม่ได้เลี้ยงกุ้ง เนื่องจากในบ่อที่เลี้ยงกุ้งมีการให้อาหารซึ่งมีบางส่วนเกิดการสูญเสียลงไปในน้ำและเป็นตะกอนของเสีย นอกจากนี้ยังมีสิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้งเป็นสารอินทรีย์ที่ลงไปในน้ำ แบคทีเรียจึงมีการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายของเสียเหล่านี้ เป็นสาเหตุให้บีโอดีในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น (Golz *et al*., 1999) สำหรับค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกราม มีค่าใกล้เคียงกับบ่อที่ไม่ได้เลี้ยงกุ้ง โดยมี pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.05-8.20 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามยังอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำที่ควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 6-9 โดยน้ำที่มีค่า pH ต่ำเกินไปจะสร้างความเครียดให้กับสิ่งมีชีวิตในน้ำจนถึงกับตายได้ ในขณะที่น้ำซึ่งมี pH สูงจะเป็นด่างเกินไป ทำให้เกิดแอมโมเนียอิสระได้มากขึ้น (มั่นสินและไพพรรณ, 2538)

น้ำในบ่อที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงกว่าค่าเริ่มต้น และสูงกว่าในบ่อที่ไม่มีกุ้ง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอในน้ำที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในอนุภาค ซึ่งได้แก่ไนโตรเจนที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต โดยเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในน้ำสูงขึ้นมีแนวโน้มว่าไนโตรเจนในอนุภาคมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคไนโตรเจนในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการให้อาหารกุ้ง ซึ่งจะถูกสาหร่าย หรือแพลงก์ตอนพืชนำไปผลิตมวลชีวะภาพโดยขบวนการสังเคราะห์แสง (Randall *et al*., 1992) พืชโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชสามารถดูดซึมไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรท เพื่อสร้างเซลล์ ปริมาณไนโตรเจนจึงมีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับปริมาณแพลงก์ตอน นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดไนโตรเจนที่ละลายน้ำให้เปลี่ยนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนในพืช สอดคล้องกับผลการเลี้ยงปลากดหลวงของ Tucker and van der Ploeg (1993) ที่พบว่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอมีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในน้ำ (Boyd and Tucker, 1992) จึงแปลงค่าอัตราความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ ไปเป็นปริมาณไนโตรเจนในแพลงก์ตอนพืชได้ (Hargreaves, 1997)

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลการไหลเข้าและการสะสมของไนโตรเจน ตลอดจนคุณภาพของน้ำในระบบเลี้ยงกุ้งก้ามกราม นอกจากนี้ยังได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาหลังการกินอาหารกับอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียจากการกินอาหาร 1 มื้อ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัตถุแห้ง, อัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากการสูญเสียน้ำหนักอาหารลงสู่น้ำ, อัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากอาหารที่เหลือ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไนโตรเจนทั้งหมดจากอาหารลงสู่น้ำ, ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (TAN) ที่เพิ่มขึ้นในน้ำจากการสูญเสียของอาหาร และปริมาณผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน (TKN) ที่เพิ่มขึ้นในน้ำจากการสูญเสียของอาหาร นอกจากนี้ยังได้ข้อมูลสัดส่วนขององค์ประกอบของไนโตรเจนในน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม อัตราการขับถ่ายมูลของกุ้งก้ามกราม เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไนโตรเจนจากอาหารเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนในตัวกุ้ง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไนโตรเจนจากอาหารลงไปในน้ำ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง และได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอกับปริมาณอนุภาคไนโตรเจนในน้ำ โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการจัดการเกี่ยวกับสารอินทรีย์ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดจากการสะสมและการเน่าสลายของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการจัดการระบบเลี้ยงให้ความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม อย่างไรก็ตามควรมีการนำข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ไปศึกษาเพิ่มเติมในฟาร์มเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเพื่อให้ได้ข้อมูลของดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ซึ่งจะทำให้สามารถจัดการด้านการเลี้ยงอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนลดผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2538. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ เล่ม 1 : การจัดการคุณภาพน้ำ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 319 หน้า

สิทธิ บุณยรัตนผลิน. 2526. โรคกุ้งก้ามกรามและวิธีป้องกันรักษา. เอกสารประกอบการอบรมเกษตรกร. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 6 หน้า

American Public Health Association. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (19th ed.). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Inc., Washington, DC.

Anger, K. 1989. Patterns of growth and chemical composition in decapod crustacean larvae. Invertebrate Reproduction and Development 33 : 159-176.

Association of Official Analytical Chemists. 2010. Official Methods of Analysis. 18th Edition, Revision 3, Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Washington DC.

Boyd, C. E. 1979. Water Quality in Warm Water Fish Ponds. Agriculture Experiment Station. Auburn University, Alabama.

Boyd, C. E. 1985. Chemical budgets for channel catfish ponds. *Trans. Am. Fish. Soc.* 114 : 291-298.

Boyd, C. E. and C. S. Tucker. 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwer, Norwell, MA.

Brennan, D. 1999. Pollution Control Policy for Australian Prawn Farms. The 43rd Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, January 20-22nd. Christchurch, New Zealand.

Briggs, M. R. P and S. J. Funge-Smith. 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. *Aquaculture Res* 25 : 789-811.

Burford, M. A. and K. C. Williams. 2001. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquacult.* 198 : 79-93.

El Samra, M. I. and J. Olàh. 1979. Significance of nitrogen fixation in fish ponds. *Aquaculture* 18 : 367–372.

Funge-Smith, S. J. and M. R. P. Briggs. 1998. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. *Aquacult.* 164 : 117–133.

Golz, W. J., K. A. Rusch and R. F. Malone. 1999. Modeling the major limitations on nitrification in floating-bead filters. *Aquacult. Eng.* 20 : 43-61.

Hargreaves, J. A. 1997. A simulation model of ammonia dynamics in commercial catfish ponds in the southeastern United States. *Aquacult. Eng.* 16 : 27–43.

Koshio, S., S. Teshima, A. Kanazawa and T. Watase. 1993. The effect of dietary protein content on growth, digestion efficiency and nitrogen excretion of Juvenile Kuruma prawns, *Penaeus japonicus*. *Aquacult.* 113 : 101-114.

Lin, C. K., V. Tansakul and C. Apihapath. 1988. Biological nitrogen fixation as a source of nitrogen input in fish ponds. **In**: R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J. L. Maclean (eds.). Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture vol. 15. ICLARM Conference Proceedings, Department of Fisheries, Bangkok. p. 53–58.

McIntosh, D., T. M. Samocha, E. R. Jones, A. L. Lawrence, S. Horowitz and A. Horowitz. 2001. Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 31%) on water and sediment quality, and on the production of *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. *Aquacult. Eng*. 25 : 69-82.

Meade, J. W. 1985. Allowable ammonia for fish culture. *Prog. Fish. Cult*. 47 : 135–145.

Millikin, M. R., A. R. Fortner, P. H. Fair and L. V. Sick. 1980. Influence of dietary protein concentrations on growth, feed conversion and general metabolism of juvenile prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *World Aquacult. Soc*. 11 : 382-391.

Nikolaos, M. T., G. A. Zachariadis, A. N. Anthemidis and J. A. Stratis. 2010. A new approach to indophenol blue method for determination of ammonium in geothermal waters with high mineral content. *Intern. J. Environ. Anal*. 90(2) : 115–126.

Nunes, A. J. P. and G. J. Parsons. 1998. Dynamics of tropical coastal aquaculture systems and the consequences to waste production. **In**: World Aquaculture. pp. 27-37

Paez-Osuna, F., S. R. Guerrero-Galvan, A. C. Ruan-Fernandez and R. Espinoza-Angulo. 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in North-western Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 34: 290-297.

Pillay, T. V. R. 1992. Aquaculture and the Environment. Fishing News Books, Oxford, UK. Reed, L., and L. R. D'Abramo. 1989. A standard reference diet for crustacean nutrition research III. Effects on weight gain and amino acid composition of whole body and tail muscle of juvenile prawns *Macrobrachium rosenbergii*. *World Aquacult. Soc*. 20 : 107-113.

Rosas, C., E. Martinez, G. Gaxiola, R. Brito, A. Sánchez and L. A. Soto. 1999. The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. 234 : pp. 41-57

Rychly, J. and L. Spannhof. 1979. Nitrogen balance in trout I. Digestibility of diets containing varying levels of protein and carbohydrate. *Aquacult.* 16 : 39-46.

Sun, W. and C. E. Boyd. 2013. Phosphorus and Nitrogen Budgets for Inland, Saline Water Shrimp Ponds in Alabama. *Fish Aquac*. 4 (1) : 1-5.

Teichert-Coddington, D. R., D. Martinez and E. Ramírez. 2000. Partial nutrient budgets for semi-intensive shrimp farms in Honduras. *Aquacult.* 190 : 139–154.

Tucker, C. S., S. W. Lloyd and R. L. Busch. 1984. Relationships between phytoplankton periodicity and the concentration of total unionized ammonia in channel catfish ponds. *Hydrobiologia* 111 : 75–79.

Tucker, C. S. and M. van der Ploeg. 1993. Seasonal changes in water quality in commercial channel catfish ponds in Mississippi. *J. World Aquacult. Soc*. 24 : 473–481.

Van Rajin, J., Y. Tal and H. J. Schreier. 2006. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacult. Eng*. 34: 364-376.

Wahab, M. A., A. Bergheim and B. Braaten. 2003. Water quality and partial mass budget in extensive shrimp ponds in Bangladesh. *Aquacult.* 218: 413-423.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.