รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกราม ที่ลดการปล่อยของเสียด้วยน้ำหมุนเวียน

Addition of Potassium Magnesium in Giant Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii* de Man Nursing in Water Recirculating System to reduce

จำนวนเงินวิจัยที่ได้รับในงวดที่ผ่านมา ประจำปี 2557

จำนวน 262,500.00 บาท

หัวหน้าโครงการ นางสาวกมลวรรณ ศุภวิญญู

ผู้ร่วมโครงการ นายยุทธนา สว่างอารมย์

นางสาวณิชาพล แก้วชฎา

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

....30../สิงหาคม.../.58... .

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตาจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีงบประมาณ 2557 ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเงินสนับสนุนและข้อแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัยพร้อมทั้งช่วยตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของรายงานฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุราษฎร์ธานี และ นายอำพร ศักดิ์เศรษฐ์ นักวิชาการศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุราษฎร์ธานี ที่ได้ให้ข้อแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย และ นักศึกษาสาขาวิชาการประมง (การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร ที่ได้สละความคิด แรงงานและเวลาอันมีค่าอย่างเต็มกำลังในการทำการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญภาพผนวก	(ข)
สารบัญภาพผนวก	(ค)
สารบัญตาราง	(ง)
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	4
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	22
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	26
สรุปผลการวิจัย	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	50

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่1 ค่าเฉลี่ยความยาวตัวของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ 27

ภาพที่2 ค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ 28

ภาพที่3 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 31

ภาพที่4 ปริมาณแคลเซียมในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ในการอนุบาลกุ้งก้ามกราม ที่แตกต่างกัน 3 แบบ 33

ภาพที่5 ปริมาณแมกนีเซียมน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 35

ภาพที่6 ค่าอุณหภูมิในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 37

ภาพที่7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 39

ภาพที่8 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 41

ภาพที่9 ปริมาณความเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 43

ภาพที่10 ปริมาณแอมโมเนีย–ไนโตรเจน(มิลลิกรัม/ลิตร)ในการอนุบาล กุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3แบบ 45

สารบัญภาพผนวก

	หน้า
ภาพผนวกที่ 1 การติดตั้งระบบน้ำ ระบบไฟฟ้า ระบบให้อากาศ	51
ภาพผนวกที่ 2 การติดตั้งเสาปูน เพื่อทำโรงเรือนชั่วคราว	51
ภาพผนวกที่ 3 การขึงตาข่ายพรางแสง	52
ภาพผนวกที่ 4 การจัดเตรียมบ่ออนุบาลกุ้งก้ามกราม	52
ภาพผนวกที่ 5 การเตรียมสาหร่าย เพื่อใช้ในการทดลอง	53
ภาพผนวกที่ 6 การเตรียมลูกกุ้งก้ามกรามเพื่อใช้ในการทดลอง	53
ภาพผนวกที่ 7 การเตรียมอาหารสำหรับลูกกุ้ง	54
ภาพผนวกที่ 8 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยระบบน้ำหมุนเวียน	54
ภาพผนวกที่ 9 การวางบ่อเพื่ออนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยระบบน้ำหมุนเวียน	55
ภาพผนวกที่ 10 การเก็บข้อมูลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยระบบน้ำหมุนเวียน	55

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่1 องค์ประกอบของเกลือแร่หลักที่พบในน้ำจืด น้ำทะเล และ น้ำกร่อย 11

ตารางที่2 ปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ในตัวครัสเตเชียนที่อาศัยอยู่ใน สภาพแวดล้อมแตกต่างกัน 12

ตารางที่3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอออนในเลือดระยะต่าง ๆ ของการลอกคราบ 17

ตารางที่4 ค่าเฉลี่ยความยาวตัวของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ 26

ตารางที่5 ค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ 28

ตารางที่6 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 30

ตารางที่7 ปริมาณแคลเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 32

ตารางที่8 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 34

ตารางที่9 ค่าอุณหภูมิในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 36

ตารางที่10 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่ แตกต่างกัน 3 แบบ 38

ตารางที่11 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 40

ตารางที่12 ปริมาณความเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 42

ตารางที่12 ปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจน ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ 44

การเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกราม ที่ลดการปล่อยของเสียด้วยน้ำหมุนเวียน

Addition of Potassium Magnesium in Giant Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii* de Man Nursing in Water Recirculating System to reduce

กมลวรรณ ศุภวิญญู ยุทธนา สว่างอารมย์ และ ณิชาพล แก้วชฎา

Kamonwan Suphawinyoo, Yutthana Savangarrom and Nichapon Kaewchada

มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร หมู่5 ตำบลละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร 86170

บทคัดย่อ

จากผลการศึกษาการเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่ลดการปล่อยของเสียด้วยน้ำหมุนเวียน โดยได้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ซึ่งประกอบด้วย 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่1 จะเป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิด เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ส่วนชุดการทดลองที่2 และชุดการทดลองที่3 จะเป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียนเหมือนกัน โดยวัสดุกรอง ประกอบด้วย ตาข่ายพรางแสง bioball และใส่สาหร่ายผมนางน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ต่อ 1 ระบบกรอง ส่วนในชุดการทดลองที่3 นี้จะมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ ด้วยการเติมเกลือ Kmag 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 1,000 ลิตร โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่ทดลองจะมีอายุ 10 วัน อนุบาลที่ความหนาแน่น 40 ตัว / ลิตร ภายในถัง 500 ลิตร จนกุ้งก้ามกรามมีอายุได้ 30 วัน ซึ่งพบว่า ความยาวของกุ้งก้ามกรามทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) แต่ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในระบบเปิดจะมีความยาวของกุ้งก้ามกรามมีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.66±0.06 เซนติเมตร ส่วนค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามจากชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน ที่ให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าน้อยสุดซึ่งมีค่าเพียง 30±2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียมในน้ำ ของทั้ง 3

ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) โดยพบว่า ในชุดการทดลองที่1 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิด นั้นจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด เท่ากับ 332±36.2 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนชุดการทดลองที่2 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน จะมีค่าปริมาณแคลเซียมสูงสุด เท่ากับ 604±143.9 มิลลิกรัม/ลิตร และ ชุดการทดลองที่3 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ จะมีค่าปริมาณแมกนีเซียมในน้ำสูงสุด เท่ากับ 590±55.4 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วน คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำ พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิน้ำ ปริมาณความเป็นด่างของน้ำ และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) และอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

คำสำคัญ : การเสริม โพแทสเซียม แมกนีเซียม การอนุบาล กุ้งก้ามกราม ลดการปล่อยของเสีย และ น้ำหมุนเวียน

Abstract

From the study of potassium and magnesium supplementation in the Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) hatchery system that reduced wastes emission or releasing by water recirculation system. The experimentation was planned to have continuously random sampling, consisted of 3 repetitive treatments, namely, the first treatment was the prawn hatchery in open system, 50 % of water was transferred every two days (controlled treatment) while the second and third experiments were the prawn larvae hatchery in closed systems also with water circulation systems with filtration material, consisting of light shielding mesh, bioball and put seaweed *(Gracilaria* sp.) weight 0.5 kg per filtration system while in the third treatment, it was supplemented with potassium and magnesium salt (Kmag) within the system by adding 1 kg of Kmag salt per 1,000 liters of water. The prawn larvae was 10 days old. They were hatched at density 40 prawns / liter of culturing water within 500 liters tanks until the prawns were 30 days old. It was found that the body length of prawns in all three treatments were in proximity ($p> 0.05$). But the larvae prawns in the open system had maximum body length of 0.66 ± 0.06 cm., the mean survival rate of the giant freshwater prawns from the second treatments which hatched the larvae in the water recirculation system resulted in statistically significant different value, ($p <0.05$) from other treatments which yielded the minimum value, only 30 ± 2 percents. The potassium, calcium and magnesium contents in the water of 3 treatments were close together ($p> 0.05$). It was found that in the first treatments, the prawn hatchery in an open system had

potassium in maximum content at 332 ± 36.2 mg / l. The second treatment, prawn hatchery in closed water circulation system. It had the highest calcium content at 604 ± 143.9 mg / l and the third treatment, prawn hatchery in closed water circulation system with potassium and magnesium supplementation would have the maximum magnesium content at 590 ± 55.4 mg / l. For the physical and chemical properties of water, the amount of dissolved oxygen (DO), pH, water temperature, water alkalinity and ammonia - nitrogen contents of all three treatments, they came out in close proximity ($p > 0.05$) and was considered suitable for aquaculture.

keywords : Potassium Magnesium, Giant Freshwater Prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, Nursing, Water Recirculating and System to reduce

คำนำ

กุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง ที่ทำรายได้ให้กับประเทศ โดยส่วนใหญ่การเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจะอยู่ในบริเวณภาคกลางของประเทศ ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ไม่มีเขตเชื่อมต่อกับทะเล แต่ระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกรามนั่น จำเป็นอย่างยิ่ง ที่ต้องมีการอนุบาลด้วยน้ำความเค็มต่ำประมาณ 10 – 15 psu (ยนต์, 2529) ดังนั้น ฟาร์มเพาะอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม จึงต้องใช้น้ำทะเลความเค็มสูงผสมกับน้ำจืด เพื่อให้ได้น้ำที่มีความเค็มตามที่ต้องการสำหรับใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งต่อไป และคงปฏิเสธไม่ได้ว่า น้ำจากการอนุบาลลูกกุ้งที่มีความเค็มในช่วง 10 – 15 psu จะไม่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติภายนอกฟาร์ม จากปัญหาดังกล่าว ทำให้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยระบบน้ำหมุนเวียน ถึงแม้ว่าจะมีการใช้ระบบดังกล่าวอยู่บ้าง แต่ยังคงประสบปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพของระบบน้ำหมุนเวียน ถึงแม้ว่าระบบกรองจะช่วยในเรื่องการเปลี่ยนแอมโมเนียในน้ำ ไปเป็นไนเตรทได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงกุ้งในระบบเปิด กลับพบว่า อัตราการรอด อัตราการคว่ำ และการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ เช่น ในการศึกษาของ สุรังษี (2551) เรื่องความหนาแน่นที่เหมาะสมในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในระบบปิด พบว่า ที่ความหนาแน่น 40 ตัวต่อลิตร มีอัตราการรอดตายเพียง 21.71 $\pm$ 1.00 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น การศึกษาของกมลวรรณ และคณะ (2548) เรื่อง ปริมาณแร่ธาตุบางชนิดในกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนที่อนุบาลด้วยระบบกรองน้ำหมุนเวียน พบว่า มีอัตราการรอดตายในระบบน้ำหมุนเวียน ที่อัตราส่วนของถังอนุบาลต่อถังกรอง 4 ต่อ 1 สูงที่สุด เท่ากับ 34.37 $\pm$ 7.22 เปอร์เซ็นต์ และการอนุบาลกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในระบบน้ำหมุนเวียน โดยการบำบัดน้ำทางชีวภาพ พบว่า มีอัตราการรอด เท่ากับ 5.15 $\pm$ 0.32 เปอร์เซ็นต์ (กิ่งเทียน และคณะ, 2554) แต่เมื่อนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนในน้ำ กลับพบว่าการใช้ระบบกรอง สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการอนุบาลกุ้งก้ามกรามในระบบน้ำหมุนเวียนที่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรมิได้เกิดจากปัญหาของระบบบำบัดอย่างแน่นอน เมื่อทางคณะวิจัยสอบถามกับผู้อนุบาลกุ้งก้ามกราม พบว่า จากการสังเกตของผู้อนุบาลลูกกุ้ง ถ้าช่วงใดสีน้ำดิบที่เป็นน้ำจืดมีสีน้ำตาล การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจะมีอัตราการรอดสูงมาก และถ้าช่วงใดน้ำมีสีเขียว จะมีอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามต่ำมากอย่างเห็นได้ชัด จากข้อมูลดังกล่าว คณะวิจัยจึงนำมาวิเคราะห์สาเหตุ หนึ่งในเหตุผลที่น่าจะเป็นไปได้ของเรื่องสีน้ำ คือ ปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำ ถ้าน้ำมีสีเขียว แสดงให้เห็นว่า มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชอยู่มากกว่าน้ำที่มีสีน้ำตาลอย่างแน่นอน อะไรทำให้เกิดความแตกต่างดังกล่าว และสิ่งนี้น่าจะเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามด้วย และความเป็นไปได้ คือ ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำ เพราะ แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของ

คลอโรฟิลล์ ซึ่งใช้ในการสร้างอาหารของแพลงก์ตอน ถ้าน้ำมีแพลงก์ตอนมาก แมกนีเซียมในน้ำ จะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้ในน้ำมีปริมาณแมกนีเซียมต่ำลงและเช่นเดียวกัน แมกนีเซียมนั้นยังมีประโยชน์ต่อกุ้ง เพราะเป็นตัวผลักดันให้แคลเซียมไปสร้างเปลือก ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ และเป็นตัวเร่งระบบเอนไซม์ในร่างกายกุ้ง (Luke *et al.,* 2007) ถ้ากุ้งขาดแมกนีเซียมยอมส่งผลต่อการเจริญเติบโต การตายของกุ้งด้วยเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่า ในการเลี้ยงกุ้ง ถ้าแร่ธาตุหลักในน้ำเลี้ยงไม่สมดุล จะส่งผลต่ออัตราการรอดและการเจริญเติบโตของกุ้ง (Boyd *et al*., 2002 ; McGraw and Scarpa, 2003 ; Davis *et al*., 2005) และอีกหนึ่งธาตุหลักที่สำคัญเช่นกัน คือ โพแทสเซียม พบว่า ถ้ามีโพแทสเซียมในน้ำเพิ่มขึ้น (อัตราส่วนของ โซเดียม ต่อ โพแทสเซียม ลดลง) จะทำให้มีอัตรารอด และน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเพิ่มขึ้น (Luke *et al.,* 2007 ; McGraw *et al*., 2002) จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่นำมาสนับสนุนว่า โพแทสเซียม และแมกนีเซียม มีผลต่ออัตรารอดของกุ้ง ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงมีแนวคิดที่จะเสริมโพแทสเซียม และแมกนีเซียมลงไปในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยน้ำหมุนเวียน โดยรักษาอัตราส่วนของ Na : K อยู่ประมาณ 40 : 1 และอัตราส่วนของ Mg : Ca ประมาณ 6 : 1 เพื่อให้มีอัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดการปล่อยน้ำเสีย และมีความเค็มลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาผลของการเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่ลดการปล่อยของเสีย ด้วยน้ำหมุนเวียนต่อ อัตราการรอด และการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม

2. ศึกษาปริมาณแร่ธาตุสำคัญโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน

3. ศึกษาคุณภาพน้ำที่เหมาะสมเมื่อมีการเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่ลดการปล่อยของเสียด้วยน้ำหมุนเวียน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ได้ระบบน้ำที่สมดุลต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามและเกษตรกรสามารถลดการปล่อยของเสียลงสู่ธรรมชาติ

การตรวจเอกสาร

<u>กุ้งก้ามกราม</u>

กุ้งก้ามกราม มีชื่อสามัญว่า Giant Freshwater Prawn มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Macrobrachium rosenbergii* de Man จัดอยู่ใน

Phylum Arthropoda
Subphylum Crustacea
Class Malacostraca
Order Decapoda
Suborder Pleocyemata
Infraorder Caridea
Family Palaemonidae
Scientific name *Macrobrachium rosenbergii*

กุ้งก้ามกราม หรือกุ้งนาง หรือกุ้งหลวง เป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีแพร่กระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำจืด ที่มีทางน้ำติดต่อกับแม่น้ำ หรือทะเล ในประเทศไทยพบชุกชุมทั่วไป ภาคเหนือพบในแม่น้ำเมย ภาคกลางพบในแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำบางปะกง ภาคตะวันออกพบในแม่น้ำจันทบุรี แม่น้ำตราดและภาคใต้พบใน แม่น้ำหลังสวน แม่น้ำตาปี แม่น้ำกระบุรี และทะเลสาบสงขลา (สุวิทย์, 2532)

<u>ฤดูผสมพันธุ์</u>

กุ้งก้ามกรามสามารถผสมพันธุ์ และวางไข่ได้ตลอดปี ในภาคกลางและภาคตะวันออกนั้นกุ้งจะวางไข่ ในเดือนพฤษภาคม–ตุลาคม ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันตก กุ้งจะผสมพันธุ์ และวางไข่ในระหว่างเดือนตุลาคม–กุมภาพันธ์ โดยเฉพาะระหว่างเดือนธันวาคม–มกราคม จะพบมากกว่าเดือนอื่น ๆ ก่อนการผสมพันธุ์ กุ้งตัวเมียจะลอกคราบอีกครั้ง หลังจากลอกคราบประมาณ 8–12 ชั่วโมง นำตัวผู้เข้าผสมพันธุ์ได้ ถ้านำตัวผู้ผสมก่อนหน้านี้ กุ้งตัวเมียอาจจะถูกกุ้งตัวผู้กัดกินได้ (บรรจง, 2535)

กุ้งก้ามกรามเมื่อมีไข่จะอพยพลงมาบริเวณปากแม่น้ำที่เป็นน้ำกร่อย เพื่อผสมพันธุ์วางไข่ ไข่จะฟักออกเป็นตัวในเขตน้ำกร่อย และพัฒนาไปเรื่อย ๆ จนมีลักษณะเหมือนกุ้งโตจึงเข้าไปหากินในแหล่งน้ำจืด

ลูกกุ้งก้ามกรามจะมีการพัฒนาเข้าสู่ระยะต่าง ๆ 12 ระยะ จึงจะกลายเป็นกุ้งคว่ำที่มีลักษณะเหมือนกุ้งโต ทุกประการ (Uno and Soo, 1969) และ (ยนต์, 2529) คือ

ระยะที่ 1 ไม่มีก้านตา ตาจะติดอยู่ด้านล่าง แพนหางเป็นแผ่นเดียวกับส่วนหาง
ระยะที่ 2 ตามีก้านตา แพนหางยังติดอยู่เป็นแผ่นเดียวกันกับส่วนหาง
ระยะที่ 3 แพนหางเริ่มแยกออกจากส่วนหาง ส่วนหางปลายยังแผ่กว้าง
ระยะที่ 4 กรีด้านบนมีหนาม 2 ซี่
ระยะที่ 5 ส่วนหางปลายแคบเข้าและยาวออก
ระยะที่ 6 ขาว่ายน้ำเริ่มโผล่ให้เห็นเป็นปุ่ม ๆ
ระยะที่ 7 ส่วนปลายขาว่ายน้ำแยกออกเป็น 2 แขนงไม่มีขน
ระยะที่ 8 ส่วนปลายขาว่ายน้ำเริ่มมีขนเล็ก ๆ
ระยะที่ 9 แขนงด้านในของขาว่ายน้ำจะมีติ่งเล็ก ๆ เกิดขึ้น
ระยะที่ 10 กรีด้านบนมีหนาม 3 ถึง 4 ซี่
ระยะที่ 11 กรีด้านบนมีหนาม 7 ถึง 9 ซี่
ระยะที่ 12 กรีมีหนามทั้งด้านบน และด้านล่าง ว่ายน้ำคว่ำ ว่ายไปข้างหน้าแบบกุ้งโต จะเริ่มลงพื้น หรือเกาะขอบบ่อ

องค์ประกอบของชั้นต่าง ๆ ของเปลือกหุ้มตัวของครัสเตเชียน

1. Epicuticle เป็นชั้นที่ไม่มีไคติน จะมีโปรตีน, ไขมัน และเกลือแคลเซียมสะสมอยู่ในชั้นนี้ ชั้นนี้มีลักษณะบาง ประกอบด้วย 2 ชั้นย่อย คือ

1.1 Outer thin membrane

1.2 Inner thicker layer มีสีเหลืองอำพัน

2. Procuticle พบเป็น fibrous laminae ขนานกับผิวหน้า และเชื่อมกันด้วย parabolic arcs fibril ประกอบด้วย ไคตินและโปรตีน

2.1 Preecdysial procuticle หรือ primary procuticle ชั้นนี้ถูกสร้างก่อนการลอกคราบเป็นชั้นบาง ๆ ที่เรียงตัวอยู่เหนือชั้น postecdysial procuticle บางที่เรียกชั้นนี้ว่า "exocuticle" ซึ่งหมายถึง ชั้นนอกที่มีสีน้ำตาล ในชั้นนี้ของครัสเตเชียนเมื่อทำการย้อมสีด้วยวิธี Mallory's triple stain จะติดสีน้ำเงินของ aniline blue ชั้นนี้มีสีน้ำตาลอ่อน เป็นชั้นที่ช่วยขัดขวางการย่อยจาก molting fluid ในช่วงการลอกคราบ

2.2 Postecdysial procuticle หรือ secondary procuticle หรือเรียกว่า "endocuticle" ซึ่งเป็นชั้นที่มีสีน้ำตาลเข้ม ย้อมติดสีฟ้าของ aniline blue ได้เล็กน้อย เนื่องจากมีสีน้ำตาลเข้มนั่นเอง ประกอบด้วย 2 ชั้นย่อย คือ

2.2.1 Principal layer เป็นชั้นที่สะสมแคลเซียม

2.2.2 Membranous เป็นชั้นที่ไม่มีการสะสมแคลเซียม

3. Ecdysial membrane เป็นชั้นที่เริ่มต้นขึ้นก่อนการลอกคราบ โดยชั้น epidermis จะแยกออกจากเปลือก ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า "apolysis" ชั้น epidermis จะสร้าง molting fluid หรือ proenzyme สำหรับย่อยชั้นในของเปลือกเก่า ในเวลานี้จะพบชั้นบาง ๆ ซึ่งยังไม่ทราบแหล่งกำเนิด ซึ่งจะอยู่ระหว่าง เปลือกเก่ากับเปลือกใหม่ ชั้นนี้จะหลุดออกไปพร้อมกับเปลือกเก่าเมื่อมีการลอกคราบ

4. Cuticle deposition zone cuticle จะถูกสะสมไว้ในชั้นบนของ epidermis cells ซึ่งจะรวบรวม chitin micro fibrils และ metrix protein อย่างหนาแน่น ชั้นนี้จะพบในช่วงที่มีการสร้าง procuticle เท่านั้น

5. Epidermis บางที่เรียกว่า "hypodermis" เป็นชั้นเดี่ยว ๆ มีหน้าที่ในการขับสาร เป็นชั้นที่สร้าง epicuticle, procuticle และmolting fluid มี basement membrane lies อยู่ใต้ชั้นนี้ เซลล์ของ epidermis จะเจริญเติบโตในช่วงก่อนลอกคราบและจะเล็กลงในช่วงหลังลอกคราบ มีการผสมของ pigment cells และ connective tissue cells ในชั้นนี้

6. Muscle attacnment structures muscle และ epidermal cells จะมีเซลล์รูปนิ้วมืออยู่ระหว่าง ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสภายใน epidermal cell microtubles จะยืดออกจากจุดที่เกี่ยวพันระหว่าง muscle กับ epidermal cells จนถึง hemidesomosome ที่ส่วนปลายของ epidermal cells เมื่อ cuticle ใหม่ถูกสร้างขึ้น attachment fiber ก็ถูกสร้างขึ้นใหม่ด้วยเช่นกัน

7. Tegument glands อยู่ใต้ชั้น epidermis ประกอบด้วย หนึ่งถึงหลายเซลล์ และมีท่อทะลุผ่าน cuticle

ในช่วงก่อนการลอกคราบ ชั้นในสุดของเปลือกเก่าจะถูกย่อยและมีการดูดซึมสารต่าง ๆ จากเปลือกเก่ากลับเข้าสู่ร่างกาย เปลือกใหม่จะถูกสร้างขึ้นมาทดแทน เมื่อมีการลอกคราบเปลือกเก่าจะถูกสลัดทิ้งไป เปลือกมีลักษณะเปราะจึงเรียกเปลือกเก่าที่ถูกสลัดทิ้งนี้ว่า "exuviae" หลังจากลอกคราบเสร็จ เปลือกใหม่จะแผ่ออกและเริ่มแข็งขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการ calcification และ sclerotization เปลือกของครัสเตเชียนมักถูกเรียกว่า solid cuticle (Stevenson, 1985)

<u>การลอกคราบและการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม</u>

สัตว์จำพวกครัสเตเชียน มีการเจริญเติบโต โดยการเพิ่มขนาดจากกระบวนการลอกคราบ (molting process) การเจริญเติบโตเกิดขึ้น โดยเมื่อเปลือกเก่าถูกสลัดทิ้ง ตัวสัตว์จะบวมเนื่องจากการดูดน้ำเข้าไป หลังจากนั้นเปลือกใหม่จะเริ่มแข็งขึ้น แล้วน้ำจะค่อย ๆ ถูกแทนที่ด้วยเนื้อเยื่อใหม่ เป็นผลให้มีปริมาณโปรตีนในร่างกายเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำลดลง ซึ่งการแทนที่น้ำโดยเนื้อเยื่อที่เกิดใหม่นี้ ถือเป็นการเจริญเติบโตที่แท้จริง (นงนุช, 2542)

ปัจจัยที่มีผลต่อการลอกคราบของกุ้ง คือ ปัจจัยภายใน เช่น ขนาดกุ้ง, อายุกุ้ง และช่วงการผสมพันธุ์ โดยเมื่อกุ้งมีขนาดใหญ่ และอายุมากขึ้น จะทำให้ความถี่ในการลอกคราบลดลง (ไพโรจน์ , 2538) และปัจจัยภายนอก เช่น แสง, อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ซึ่งอุณหภูมิ เป็นปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบมากที่สุด ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้กุ้งลอกคราบเร็วขึ้น แต่ต้องเป็นสภาวะที่กุ้งดำรงชีวิตได้อย่างปกติ (Passano, 1960; Skinner, 1986)

วงจรการลอกคราบของกุ้ง

สังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคที่เกิดขึ้น ที่บริเวณระยางค์ (setae) ของแพนหาง สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ได้ดังนี้ (พุทธ, 2531; ประจวบ, 2537; นงนุช, 2542; Scheer, 1960)

1. ระยะ A (early postmoult) เป็นระยะหลังการลอกคราบใหม่ ๆ เปลือกใหม่มีลักษณะเป็นหนังเหนียว ๆ ลื่น และอ่อนนุ่ม มีการดูดซึมน้ำและเกลือแร่เข้าสู่ร่างกาย สามารถแบ่งย่อยได้เป็น A_1–A_2

2. ระยะ B (late post moult) เป็นระยะหลังการลอกคราบที่เริ่มมีการสร้าง endocuticle ขึ้น และเปลือกเริ่มแข็งขึ้น ที่โคนขนของระยางค์ มีการสร้าง setal cone เกิดขึ้น แบ่งย่อยได้เป็น B_1–B_2

3. ระยะ C (intermoult) เป็นระยะหลังการลอกคราบที่มีการเจริญของชั้นเนื้อเยื่อและมีการสร้าง exocuticle ขึ้น ขนของระยางค์ทุกเส้นมี setal cone และกุ้งจะเข้าสู่ระยะปกติ แบ่งย่อยได้เป็น C_1–C_4

4. ระยะ D (premoult) เป็นระยะก่อนการลอกคราบ ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ของสารต่าง ๆ จากเปลือกเก่าเข้าสู่กระแสเลือด และมีการงอกใหม่ของระยางค์ที่ขาดหายไป แบ่งย่อยได้เป็น D_0–D_4

5. ระยะ E (ecdysis) เป็นระยะที่สั้นที่สุดของวงจรการลอกคราบ โดยกุ้งมีการนำน้ำเข้าตัวให้ขยายขนาด เพื่อให้สามารถดันเปลือกเก่าออกได้ง่ายขึ้น

องค์ประกอบของเกลือแร่หลักในน้ำและในตัวกุ้ง

เกลือแร่หลักที่พบในน้ำ คือ คลอไรด์ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโปรแตสเซียม ซึ่งความเข้มข้นของอิออนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปในน้ำแต่ละแห่ง โดยหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ที่พบปริมาณมากในน้ำมีดังนี้ (วิรัช, 2544)

ตารางที่1 องค์ประกอบของเกลือแร่หลักที่พบในน้ำจืด น้ำทะเล และ น้ำกร่อย

ชนิดเกลือแร่	น้ำจืด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	น้ำทะเล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	น้ำกร่อย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Cl^-	7.8	19,000	6600
Ca^{2+}	15.0	400	176
Mg^{2+}	4.1	1,350	458
Na^+	6.3	19,000	3500
K^+	2.3	380	175

และได้มีการศึกษาปริมาณเกลือแร่ในตัวครัสเตเชียนที่อาศัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ในแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ พบว่า เกลือแร่ในตัวกุ้งจะแปรผันตามระดับความเค็มของน้ำที่ใช้ในการเลี้ยง เกลือแร่ในตัวกุ้งที่เลี้ยงที่น้ำความเค็ม 10 และ 20 ส่วนในพันจะมีความเข้มข้นของเกลือแร่มากที่สุด ส่วนที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 ส่วนในพัน จะความเข้มข้นใกล้เคียงกับน้ำที่ใช้เลี้ยง (สิทธิโชค, 2545) ดังตารางที่ 2

ตารางที่2 ปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ในตัวครัสเตเชียนที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน

ชนิด	Na^+ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		Cl^- (มิลลิกรัมต่อลิตร)		Mg^{2+} (มิลลิกรัมต่อลิตร)		Ca^{2+} (มิลลิกรัมต่อลิตร)		K^+ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ที่มา
	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	
Peneaus monodon											สิทธิโชค(2545)
ความเค็ม 10 ppt	4524.5	6902.9	5068.7	15620	608.3	90.6	170.3	575.1	230.0	391.8	
20 ppt	6267.1	7835.7	10592.8	17123.9	846.7	118.5	275.8	560.6	270.8	366.8	
30 ppt	8571.8	8602.3	15290.0	18447.5	1079.2	125.8	358.8	622.9	365.0	420.8	
Macrobrachium	Fw	260	Fw	150	-	-	-	-	-	-	Denne (1968)
australiense	120	280	140	310	-	-	-	-	-	-	
Artemia salina	1500	250	1140	215	170	13	19	2.4	33	8.2	Geddes (1975)

ตารางที่2 ปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ในตัวครัสเตเชียนที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน (ต่อ)

ชนิด	Na^+ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		Cl^- (มิลลิกรัมต่อลิตร)		Mg^{2+} (มิลลิกรัมต่อลิตร)		Ca^{2+} (มิลลิกรัมต่อลิตร)		K^+ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ที่มา
	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	
P. setiferous											Mcfaland and Lee (1963)
ความเค็ม fw	-	185	-	275	-	8	-	34	-	7.2	
100 %sw	-	350	-	400	-	20	-	16	-	9.1	
175 %sw	-	590	-	575	-	28	-	15	-	11	
P. *aztecus*	170	245	160	285	17	13	4	18	-	-	Mcfaland and Lee (1963),
100	360	330	430	355	38	20	9	18	-	-	Venkatanariah *et al.*. (1974)
175	460	38	580	400	45	24	11	18	11	17	
				510		30		14	-	10	
P. *duirarum*											Mcfaland and Lee (1963)
20		240		275	-	-	-	-	-	8	Bursey and Lane (1971)
75		375		450	-	-	-	-	-	9	
100	470	405	545	460	-	-	-	-	10	9	
175		740		900	-	-	-	-	-	15	

หมายเหตุ M = Medium และ H = Hemolymph

ที่มา: สิทธิโชค (2545) และ Mantel and Farmer (1983)

การปรับสมดุลน้ำ และไอออน

ส่งศรี (2533) กล่าวว่าเป็นการรักษาความเข้มข้นของออสโมซิสภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ให้มีความแตกต่างจากสภาพแวดล้อมภายนอกตัว (External medium) และไม่ได้ควบคุมการกระจายของน้ำเพียงอย่างเดียว ยังควบคุมส่วนประกอบ และความเข้มข้นของไอออนแร่ธาตุต่าง ๆ เพราะปริมาณแร่ธาตุไอออนระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอก และภายในแตกต่างกัน ทำให้เกิดการทำงานของเซล และเนื้อเยื่อ เรียกว่า Ionicregulation ทั้ง Water and ionic regulation เป็นกิจกรรมที่แยกกันไม่เด่นชัด คำจำกัดความของ Osmoregulation จึงรวมทั้งสองกิจกรรมนี้ไว้ด้วยกัน

สัตว์น้ำจะปรับสมดุลน้ำ และไอออน แตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่อาศัย โดยแบ่งสภาพการควบคุมออสโมซิสของสัตว์น้ำได้ 3 แบบ คือ

1. Iso-osmotic or slightly above sea water สัตว์น้ำจะไม่มีปัญหาในการปรับสมดุลของน้ำ เพราะความเข้มข้นของของเหลวภายในร่างกายเกือบเท่ากับน้ำที่อาศัยอยู่ ไม่มีปัญหาการไหลของน้ำ (Osmotic water flow) เข้าออกภายในร่างกาย
2. Hypo-osmotic สัตว์น้ำจะสูญเสียน้ำภายในร่างกายให้กับน้ำที่อยู่รอบตัว
3. Hyper-osmotic สัตว์น้ำจะได้รับน้ำจากน้ำรอบตัวภายนอก และจะขับน้ำที่มากเกินไปทางอวัยวะขับถ่าย

ประจวบ (2537) กล่าวว่า ไอออนในเลือดสัตว์น้ำที่สูงกว่าน้ำทะเล คือ Na^+, K^+ และCa^{2+} ส่วนที่มีค่าต่ำกว่า คือ Mg^{2+} และ SO_4^{2-} ส่วน Cl^- ของเลือดและน้ำทะเลจะใกล้เคียงกัน แต่ภายในเซล (ICF) จะแตกต่างกัน คือ จะมี K^+ สูงกว่าภายนอกเซล และมี Na^+ และ Cl^- ต่ำกว่า (ส่งศรี, 2533) Potts and Parry (1964) รายงานว่า ค่า Osmolality ในน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ ~ 1000 mOsm และในเลือดของพวกครัสเตเชียน มีค่าเท่ากับ ~ 1000 mOsm เช่นกัน

แร่ธาตุที่สำคัญต่อการดำรงค์ชีวิตของกุ้ง

แร่ธาตุที่สำคัญต่อการดำรงค์ชีวิตของกุ้ง และการปรับสมดุลน้ำ และไอออน คือ โปแตสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โซเดียม (Na^+) คลอไรด์ (Cl^-) แคลเซียม (Ca^{2+}) เป็นต้น (ประจวบ, 2537)

กลุ่มธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำ สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้ (ภิญโญ, 2545)

1. กลุ่มธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโปแตสเซียม (K)
2. กลุ่มธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)
3. กลุ่มธาตุอาหารที่ใช้น้อยแต่จำเป็นต่อการดำรงค์ชีวิต เช่น โคบอลท์ (Co), โบรมีน (Br)

4. กลุ่มธาตุอาหารเสริม ได้แก่ สังกะสี (Zn), โบรอน (B), ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn)

5. กลุ่มธาตุจากอากาศ เช่น คาร์บอน (C), ออกซิเจน (O) และไฮโดรเจน (H)

6. กลุ่มธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักของน้ำทะเล คือ โซเดียม (Na), คลอไรด์ (Cl) และไอโอดีน (I)

1. โซเดียม (Na^+) มีอยู่ในเลือดน้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในกล้ามเนื้อประมาณ 90% ปริมาณของโซเดียมแตกต่างกันตามที่อยู่อาศัยของสัตว์ โซเดียมทำหน้าที่รักษาสมดุลเกลือแร่ (osmotic pressure) ควบคู่กับโปแตสเซียม รักษาสมดุลของความเป็นกรด–ด่างในตัวกุ้ง และมีส่วนในการทำงานของกล้ามเนื้อ (ประจวบ, 2537)

2. คลอไรด์ (Cl^-) พบในของเหลวทั้งภายในและภายนอกเซลล์ กุ้งสามารถสะสมได้มากกว่าโซเดียม และโปแตสเซียม คลอไรด์จะรักษาความเป็นกรด–ด่างของน้ำย่อย และเป็นสารประกอบในน้ำย่อย รักษาสมดุลเกลือแร่ (osmotic pressure) รวมทั้งช่วยกระตุ้นน้ำย่อย amylase ให้ทำงานได้ดีขึ้น โดยคลอไรด์จะมีการแลกเปลี่ยนบริเวณเหงือกของกุ้ง (ประจวบ, 2537)

3. แมกนีเซียม (Mg^{2+}) ส่วนใหญ่อยู่ในโครงสร้างของร่างกายประมาณ 70% ที่เหลือพบในเนื้อเยื่อและเลือด ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ ผลักดันให้แคลเซียมไปสร้างเปลือกที่เป็นสารไคติน (Chitin) โดยมีวิตามินซีเป็นตัวช่วย ทำให้กุ้งลอกคราบเป็นปกติ (ภิญโญ, 2545) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ทำให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น ถ้ามีมากเกิน ทำให้การเต้นของหัวใจช้าลง

4. แคลเซียม (Ca^{2+}) เป็นสารประกอบสำคัญของโครงสร้างภายนอก (exoskeleton) ของกุ้ง และแหล่งที่มาของแคลเซียม ได้จากน้ำและอาหาร (ประจวบ, 2537) กุ้งใช้แคลเซียม ควบคู่กับฟอสฟอรัสโดยมีการย่อยเป็นโมเลกุลเล็กก่อนจึงดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ การดูดซึมแคลเซียมจะทำได้ดีขึ้นถ้ามีวิตามินดีอยู่ด้วย

5. ฟอสฟอรัส (P) มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ โดยเฉพาะพืชชั้นต่ำซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชและสัตว์จะนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้าง Protoplasm เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืช โดยเฉพาะแพลงตอนก์พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นการสร้างความอุดมสมบูรณ์แก่แหล่งน้ำ

6. โปแตสเซียม (K^+) พบในเซลล์ร่างกายและเลือด กุ้งจะต้องการโปแตสเซียมสูงในระยะที่มีการเจริญเติบโต หรือเริ่มสร้างเนื้อเยื่อ โปแตสเซียมช่วยในการควบคุมการเข้าออกของสาร และน้ำภายในเซลล์ รักษาสมดุลเกลือแร่ (osmotic pressure) รักษาสมดุลความเป็นกรด–ด่าง ส่งผลต่อ

การทำงานของกล้ามเนื้อ, ระบบประสาท และการเต้นของหัวใจ เกิดปัญหาในเรื่องการสืบพันธุ์ เลือดเป็นกรด และยับยั้งการพองตัวของหัวใจ (ประจวบ, 2537)

<u>การเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุที่เกิดขึ้นในวงจรการลอกคราบของกุ้ง</u>

1. ระยะ A และ B (postmoult) มีการสะสมแคลเซียม (calcification) ทันทีหลังการลอกคราบเสร็จสมบูรณ์ โดยจะสะสมแคลเซียมไว้ที่เปลือกชั้นนอก (exocuticle) ตั้งแต่ระยะ A_1 จนถึงระยะB ซึ่งแคลเซียมที่นำมาสะสมนั้นได้มาจากอาหารหรือ จากสิ่งแวดล้อมโดยตรง บางส่วนได้จากการสะสมไว้ในเฮพาโตแพนเครียส ดังนั้นในระยะนี้จึงทำให้มีปริมาณแคลเซียมในเลือดลดต่ำลง ตั้งแต่ระยะ A_2 จะมีการสะสมแคลเซียม, ไคติน และโปรตีน ที่บริเวณเปลือกชั้นใน (endocuticle) (พุทธ, 2531; ประจวบ, 2537)

2. ระยะ C (intermoult) เป็นระยะปกติของสัตว์ การสร้างเปลือกและเนื้อเยื่อต่าง ๆ จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ปริมาณแคลเซียมในเลือดจะต่ำ เนื่องจากแคลเซียมส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้ที่เปลือก (พุทธ, 2531)

3. D (premoult) มีการสร้างไคติน (chitin) ในระยะ D_3 มีการดูดแร่ธาตุที่สะสมที่เปลือกกลับเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เปลือกเก่าอ่อนลง ก่อนการลอกคราบบริเวณเฮพาโตแพนเครียส จะเก็บสะสมแร่ธาตุที่ได้รับจากกระบวนการดูดสารกลับจากเปลือกเก่า โดยขนส่งผ่านระบบเลือด ทำให้ในเลือดมีปริมาณแคลเซียม และฟอสฟอรัสสูง และมีแร่ธาตุบางชนิดจะถูกเก็บสะสมไว้ ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยจะอยู่ในรูปเกลือฟอสเฟต ซึ่งเกลือฟอสเฟตนั้นจำเป็นในการสร้างไคตินในระหว่างที่มีการสร้างเปลือกใหม่ (พุทธ, 2531; ประจวบ, 2537)

4. ระยะ E (ecdysis) ในระยะนี้ กุ้งจะหยุดการเคลื่อนไหว แรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ของเลือดเพิ่มสูงขึ้น ในระยะนี้มีปริมาณกลูโคส, โปรตีน และไขมันในเลือดเพิ่มสูงขึ้นด้วย (พุทธ, 2531) ดังตารางที่ 2

ตารางที่3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอออนในเลือดระยะต่าง ๆ ของการลอกคราบ

เลือดของ *Crangon crangon* (Hagerman, 1973)				
ระยะ (stage)	Na (mEq/L)	K (mEq/L)	Ca (mEq/L)	Mg (mEq/L)
A	80 - 110	13 - 16	-	3 - 4
B	90 - 130	10 - 14	7 - 10	2 - 3
C	120 - 150	7 - 10	12 - 15	2
D_0	130 - 150	-	10 - 13	1 - 2
D_1	140 - 160	4 - 8	10 - 13	-
D_{2-3}	100 - 130	5 - 10	10	2 - 3

เลือดของ Eriocheir sinensis (De Leersnyder, 1967)		
ระยะ (stage)	Osmolality (mOsm)	Cl (mmoles/L)
B_1	535	250
C_2	600	270
C_4	630	265
D_1	640	265
D_2	640	265
D_3	635	280

เลือดของ Crayfish (greenaway, 1974)	
ระยะ (stage)	Ca (mmoles/L)
C_4	11.7
D_{3-4}	15
A_1	15.6
B_{1-2}	14.5

ที่มา: Mantel and Farmer (1983)

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การกรองน้ำ เป็นการบำบัดน้ำในลักษณะที่ให้ตะกอนติดค้างอยู่ในชั้นกรอง เพื่อแก้ปัญหาความขุ่นของน้ำ และช่วยลดสารพิษต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ และลดความต้องการใช้ออกซิเจนของน้ำลง โดยแบ่งลักษณะการกรองเป็นหลายลักษณะด้วยกัน (เกรียงศักดิ์, 2535)

แบ่งตามทิศทางการไหลของน้ำที่ผ่านชั้นกรอง แบ่งได้ 3 แบบ คือ

1. แบบไหลลง (Downflow filter) นิยมใช้กันมากสุด โดยมีทิศทางการไหลเข้าของน้ำผ่านชั้นกรองจากบนลงล่าง

2. แบบไหลขึ้น (Upflow filter) มีลักษณะปล่อยให้น้ำไหลขึ้นผ่านชั้นกรอง มีประสิทธิภาพในการดักตะกอนได้ดีกว่าแบบไหลลง เพราะต้องใช้แรงดันเพื่อให้น้ำไหลขึ้นได้สะดวก จึงทำให้ตะกอนต่าง ๆ ที่ไหลมากับน้ำ พยายามแทรกเข้าไปภายในของชั้นกรอง

3. แบบไหลสองทาง (Biflow filter) มีการไหลเข้าสู่ระบบกรองน้ำ 2 ทาง คือ ทางน้ำไหลขึ้นและทางน้ำไหลลง โดยมีการติดตั้งท่อระบายน้ำ ซึ่งอยู่ในระดับกึ่งกลางของชั้นกรอง

การแบ่งตามจำนวนของชั้นกรอง แบ่งได้ 3 แบบ ตามจำนวนของชั้นกรอง คือ

1. หนึ่งชั้นกรอง จะมีการวางเรียงของสารกรองอยู่ 3 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะวางเรียงของสารกรอง โดยให้สารกรองที่มีขนาดเล็ก จัดวางอยู่บริเวณระดับบนของชั้นกรอง และใช้สารกรองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จัดวางอยู่บริเวณระดับล่างลงมาของชั้นกรอง ลักษณะการกรองแบบนี้ไม่นิยมใช้กันมากนัก เพราะทำให้ต้องมีการล้างชั้นกรองบ่อยขึ้น ลักษณะการวางเรียงสารกรองอีกลักษณะ คือ มีขนาดของสารกรองชนิดหยาบตั้งแต่ 2 ถึง 3 มิลลิเมตร วางทับถมกัน โดยมีความลึกประมาณ 2 เมตร หรือน้อยกว่า ซึ่งจะมีอายุการใช้งานนานกว่าลักษณะแรก ข้อเสียของทั้งสองลักษณะคือ ต้องจัดหาขนาดของสารกรองที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด สำหรับการวางเรียงสารกรองลักษณะที่สาม คือ มีการวางเรียงของสารกรองขนาดใหญ่เล็กวางปนกันไป ระบบกรองน้ำแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูง การวางเรียงของสารกรองมีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการกรองน้ำ โดยพยายามวางสารกรองที่มีขนาดใหญ่ เล็ก ปนกันไปอย่างสม่ำเสมอ ความลึกของสารกรองควรมีประมาณ 0.9 เมตร

2. สองชั้นกรอง มีลักษณะการวางเรียงสารกรองจากขนาดใหญ่อยู่ระดับบน และสารกรองขนาดเล็กวางเรียงลงมาอีกระดับ โดยมีสองชั้นกรองเท่านั้น ระบบกรองแบบนี้มีอายุการใช้งานของระบบกรองน้ำนานกว่าแบบหนึ่งชั้นกรอง โดยมีลักษณะการวางสารกรองแบบวางผสมกันระหว่างสารกรองขนาดใหญ่และเล็ก กับแบบไม่มีการวางผสมกัน

3. สามชั้นกรองหรือมากกว่า มีการเรียงสารกรองจากขนาดใหญ่ที่อยู่บริเวณระดับบนและขนาดเล็ก เรียงลงมาจนถึงระดับล่าง โดยสารกรองทั้งสองขนาดอาจวางเรียงต่อกัน หรือวางผสมกันระหว่างสารกรอง 2 ขนาด

คุณสมบัติของสารกรอง

1. เปลือกหอยนางรม โดยนำไปใส่ไว้ในบ่อกรองแทนที่ปะการังซึ่งมีปัญหาทั้งเรื่องราคาและหายากขึ้น

ข้อดี มีคุณสมบัติการเป็น pH buffer ราคาต่ำกว่าปะการังหากเปรียบเทียบต่อปริมาตรที่เท่าเทียมกัน เป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ได้อย่างเป็นประโยชน์

ข้อเสีย มีพื้นที่ผิวต่ำทำให้ Bateria ไม่มีพื้นที่อาศัยเพื่อสร้างเมือกชีวภาพ ด้านหนึ่งของเปลือกหอยถูกเคลือบด้วยสารประเภท Chitin มีลักษณะมัน ลื่น ทำให้ด้านที่มีผิวมันนั้นไม่เหมาะที่จะเป็นพื้นที่ผิวสำหรับแบคทีเรียในการยึดเกาะ ความทนทานต่ำ เพราะเปลือกหอยโดยทั่วไปมักจะค่อนข้างเปราะ แตกหักได้ง่าย เมื่อวางในชั้นกรองแล้วจะมีช่องว่างระหว่างตัววัสดุกรองแต่ละชิ้นค่อนข้างมากทำให้ดักจับตะกอนชิ้นเล็กๆ ได้ไม่ดีเท่าที่ควร หากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอก็สามารถทำให้น้ำกระด้างได้เช่นเดียวกับปะการัง ก่อนใช้เปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุกรอง ต้องมีการนำมาแช่น้ำและล้างเอาเศษเนื้อหอยและสิ่งสกปรกออกเสียก่อน และการนำใส่ถุงตาข่ายก่อนไปใช้ในบ่อกรองจะทำให้การทำความสะอาดกระทำได้ง่ายขึ้น

คุณภาพน้ำในโรงเพาะฟักและอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

น้ำที่ใช้ในการเพาะฟักและอนุบาลมีคุณสมบัติดังนี้ (ยนต์, 2529)

1. ความเค็ม ระหว่าง 10-15 ส่วนในพัน ปกติในโรงเพาะฟักจะใช้ความเค็มประมาณ 12 ส่วนในพัน ในการอนุบาลลูกกุ้งนั้น พยายามอย่าให้มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มขึ้นลงมาก ในทันทีทันใด เพราะอาจเป็นอันตรายต่อลูกกุ้ง
2. อุณหภูมิของน้ำ ช่วงที่ดีที่สุดควรอยู่ระหว่าง 26-31 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียส จะทำให้ลูกกุ้งโตช้า และพัฒนาเป็นลูกกุ้งคว่ำช้า อาจทำให้กุ้งช็อคและตายได้
3. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ควรอยู่ระหว่าง 3-5 ppm.
4. น้ำควรสะอาด ไม่มีการเน่าเสียที่เกิดจากสารอินทรีย์
5. น้ำไม่ควรมีแพลงก์ตอนพืชในปริมาณมาก
6. pH ของน้ำ อยู่ในระดับ 7.0-8.5
7. ไม่มีสารพิษต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อลูกกุ้ง
8. น้ำจากแหล่งบาดาล หรือจากนาเกลือจะต้องมีสัดส่วนของแร่ธาตุต่าง ๆ ใกล้เคียงกับน้ำทะเลธรรมชาติ
9. น้ำจากแหล่งบาดาล ไม่ควรมีโลหะหนักละลายในน้ำมาก

ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในการเพาะฟักและอนุบาลลูกกุ้ง

ยนต์ (2539) กล่าวว่าส่วนประกอบด้านแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำแตกต่างไปจากน้ำทะเลปกติ ซึ่งเป็นปัญหาในกรณีที่ใช้น้ำเค็ม หรือน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือ ซึ่งคาดว่าเป็นสาเหตุให้กุ้งตาย น้ำเค็มบาดาลแต่ละแหล่งอาจจะมีองค์ประกอบในแง่สัดส่วนของแร่ธาตุต่าง ๆ แตกต่างกันไป บางแหล่งก็มีเหมือนหรือใกล้เคียงกับน้ำทะเล แต่บางแหล่งก็แตกต่างจากน้ำทะเลมาก เช่น มีอัตราส่วนของโซเดียมน้อยกว่าปกติ แต่มีธาตุอื่นในอัตราส่วนมากขึ้นเช่นเดียวกับน้ำทิ้งจากนาเกลือที่เค็มจัดจนเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ ส่วนใหญ่ตกตะกอนไปแล้ว น้ำประเภทนี้จะใช้เพาะฟักและอนุบาลไม่ได้ผล นอกจากนำมาปรับสภาพโดยสารเคมีเสียก่อน น้ำความเค็มระดับปานกลางของนาเกลือบางครั้งก็อาจมีปัญหาได้ ถ้ามีการใช้น้ำทิ้งจากนาเกลือที่เค็มจัดกลับเข้าไปผสมเพื่อเร่งการตกผลึกเพราะจะทำให้สัดส่วนแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำเปลี่ยนไป

การป้องกันแก้ไข

น้ำเค็มจากแหล่งบาดาลก่อนจะนำมาใช้ในโรงเพาะฟักควรจะได้วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำเสียก่อนว่าแตกต่างจากน้ำทะเลปกติหรือไม่ หรือถ้าไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ก็อาจใช้วิธีเอาน้ำมาผสมทดลองอนุบาลกุ้งก้ามกรามดูก่อนในจำนวนน้อย ๆ ว่ามีปัญหาต่อลูกกุ้งหรือไม่ ถ้าไม่มีปัญหาจึงนำไปใช้ ปกติคุณภาพน้ำบาดาลจะค่อนข้างคงที่ การตรวจสอบจึงอาจใช้เพียงครั้งเดียวในระยะแรก สำหรับน้ำที่ซื้อจากนาเกลือก็ควรจะตรวจสอบก่อนใช้เหมือนกัน เพื่อป้องกันข้อผิดพลาด

การแก้ไขปัญหานี้อาจจะทำได้โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำ แล้วปรับองค์ประกอบใหม่ โดยการเติมสารเคมี แต่เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง ถ้าเป็นไปได้ควรหาน้ำจากแหล่งอื่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการเพาะฟัก

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เริ่มมีการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียน ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การเพาะกุ้งก้ามกรามโดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียนแบบง่าย คือ การใช้บ่อขนาดกว้าง 1.3 เมตร ยาว 9.8 เมตร ลึก 70 เซนติเมตร และบ่อกรองมีขนาดเดียวกัน ชั้นกรองประกอบด้วย หิน หนาประมาณ 15 เซนติเมตร และปูทับด้วยตาข่ายไนล่อน และปิดทับด้วยทรายละเอียด หนาประมาณ 20 เซนติเมตร พบว่า ผลผลิตของลูกกุ้งที่ได้จากใน

บ่อเลี้ยงเฉลี่ยคือ 71,416 ตัว หรือเท่ากับ 4.8 ตัว/ลิตร (สมศักดิ์ และ ชำนาญ, 2523) นอกจากนี้ ยังมีการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยการผ่านระบบกรองน้ำหมุนเวียน ซึ่งพบว่า การใช้วัสดุกรองร่วม คือ เปลือกหอยนางรม กับ ตาข่ายพรางแสง สามารถใช้เป็นวัสดุช่วยกรองได้เป็นอย่างดี (สุรังษี, 2548) การเลี้ยงปลากะรังในระบบน้ำหมุนเวียน (ยงยุทธ และคณะ, 2546) ปริมาณแร่ธาตุในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยระบบกรองน้ำหมุนเวียน (กมลวรรณ และคณะ, 2548) การอนุบาลกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยระบบน้ำหมุนเวียนชีวภาพ (กิ่งเทียน และคณะ, 2554)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

<u>อุปกรณ์</u>

1. ถังอนุบาล ลูกกุ้งก้ามกราม
   ถังพลาสติกขนาดปริมาตร 500 ลิตร จำนวน 20 ใบ
2. ถังเก็บน้ำ
   ถังพลาสติกขนาด 3000 ลิตร จำนวน 6 ใบ
3. สัตว์ทดลอง
   ลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนอายุ 10 วัน
4. ระบบน้ำหมุนเวียน จำนวน 6 ชุด
5. วัสดุกรองภายในระบบน้ำหมุนเวียน ได้แก่ ไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และสาหร่ายผมนาง
6. วัสดุเกลือ Kmax (มีส่วนประกอบของ โพแทสเซียม, แมกนีเซียม และซัลเฟต)
7. น้ำตาลทราย
8. น้ำที่ใช้ทดลอง
   น้ำทะเลที่ผสมกับน้ำจืด ให้ได้ความเค็มที่ 12 – 15 psu. จากนั้นนำมากรองผ่านทราย ทิ้งไว้ในถังพักน้ำเป็นเวลา 7 วันก่อนนำน้ำมาใช้ในการทดลอง
9. อาร์ทีเมียแรกฟัก
10. อาหารผสม (ไข่ตุ๋น ผสม นมผง)
11. อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
12. อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์แร่ธาตุ
13. Spectrophotometer
14. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2, 4 ตำแหน่ง
15. อุปกรณ์อนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

วิธีการ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design)

การทดลองที่1 ศึกษาผลของการเสริม โพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำหมุนเวียนต่อ อัตราการรอด และการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดที่1 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิด เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม)

ชุดที่2 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน

ชุดที่3 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ

วิธีการทดลอง

การเตรียมระบบกรอง

ใช้ถังพลาสติกขนาดปริมาตร 500 ลิตร มีทางน้ำเข้า – ออก ติดตั้งระบบลักน้ำ เพื่อนำน้ำเข้าสู่ระบบกรอง ติดตั้งระบบให้อากาศภายในระบบกรอง

วัสดุกรอง ประกอบด้วย ตาข่ายพรางแสง ไบโอบอล โดยทำความสะอาด และฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (กมลวรรณ และคณะ, 2548)

ใส่สาหร่ายผมนางน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ต่อ 1 ระบบกรอง ประยุกต์จาก กมลวรรณ และคณะ (2554) ในช่วงที่ระบบกรองอยู่ในสภาวะที่สมบูรณ์

การกระตุ้นระบบกรองชีวภาพ โดยยึดอัตราส่วนของ C : N = 16 : 1 (กษิดิศ และคณะ, 2553) โดยเติมแอมโมเนียคลอไรด์ (NH_4Cl) ในน้ำความเข้มข้น 15.3 mg/L จะมี N 1.0 mg/l

เติมน้ำตาลทรายความเข้มข้น 160 g / ตัน เปิดระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านถังอนุบาล จนกว่าระบบกรองชีวภาพ จะอยู่ในสภาวะที่สมบูรณ์

การเตรียมถังอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ใช้ถังพลาสติกขนาดปริมาตร 500 ลิตร ทำความสะอาด และใส่น้ำปริมาตร 500 ลิตร

การเตรียมสัตว์ทดลอง และให้อาหาร

ใช้ลูกกุ้งก้ามกรามอายุ 10 วัน อนุบาลที่ความหนาแน่น 40 ตัว / ลิตร ให้อาหาร คือ อาร์ทีเมียแรกฟัก และ ไข่ตุ๋น ให้อาร์ทีเมีย เวลา 9.00 น. และ 15.00 น. ให้ไข่ตุ๋น เวลา 6.00 น. 12.00 น. และ 18.00 น. โดยให้ในปริมาณที่มากพอจนอิ่ม จนกุ้งอายุ 30 วัน

การเติมโพแตสเซียม และแมกนีเซียมในการอนุบาลกุ้งก้ามกราม

ควบคุมอัตราส่วนของ Na : K ให้อยู่ประมาณ 40 : 1 (Martin *et al.*, 2012)

โดย เติมเกลือ Kmag (ซึ่งมีส่วนประกอบของ โพแตสเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟต) 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 1,000 ลิตร จะทำให้มีโพแตสเซียม เพิ่มขึ้น 90 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และมีแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 120 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ส่งผลให้มีอัตราส่วนของ Mg : Ca อยู่ที่ประมาณ 6:1

การเติมกากน้ำตาล

สามารถเติมกากน้ำตาลระหว่างการเลี้ยงในระบบหมุนเวียน เมื่อพบว่าปริมาณ N ในน้ำเพิ่มขึ้น โดยถ้า N เพิ่มขึ้น 1 mg/L เติมกากน้ำตาลลงไป 160 g / น้ำ 1 ตัน

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของลูกกุ้งก้ามกราม

การวัดการเจริญเติบโตของลูกกุ้ง นำกุ้งมาวัดความยาวโดยวัดตั้งแต่ปลายกรีจนถึงปลายหาง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 4X

เก็บข้อมูลอัตราการรอดตาย

นับจำนวนลูกกุ้งก้ามกรามที่รอดตายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

$$\text{อัตรารอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งที่รอด}}{\text{จำนวนกุ้งเมื่อเริ่มทดลอง}} \times 100$$

เก็บข้อมูลความถี่ในการลอกคราบ

ทำการสุ่มกุ้งจำนวน 20 ตัว เพื่อหาการพัฒนาเข้าสู่ระยะต่าง ๆ ของลูกกุ้ง ตั้งแต่อายุ 10 วัน จนอายุ 30 วัน ตามวิธีของ Uno and Soo (1969) ทำการบันทึกระยะเวลาที่กุ้งพัฒนาเข้าสู่ระยะต่างๆ

ปริมาณแร่ธาตุในน้ำ

การเก็บข้อมูลปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

เก็บตัวอย่างน้ำในระบบหมุนเวียน บริเวณทางน้ำออกจากบ่อเลี้ยง จำนวน 3 ซ้ำ และเก็บตัวอย่างในระบบเปิด บริเวณถังอนุบาลกุ้งก้ามกราม ทุกวันจนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุ จนสิ้นสุดการทดลอง

คุณภาพน้ำ

ควบคุมคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมต่อการอนุบาลกุ้งก้ามกราม โดยทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง แอมโมเนีย – ไนโตรเจน ความเป็นด่าง ทุกวัน เวลา 8.00 น. จนสิ้นสุดการทดลอง ตามวิธีวิเคราะห์ของ APHA (1995)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ความถี่ในการลอกคราบ ความแตกต่างของคุณภาพน้ำ จากการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบน้ำหมุนเวียน ด้วยวิธีวิเคราะห์วาเรียนซ์ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของลูกกุ้งก้ามกราม

จากผลการทดลองการเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่ลดการปล่อยของเสียด้วยน้ำหมุนเวียน พบว่า ชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะส่งผลให้ความยาวตัวของกุ้งก้ามกราม มีค่าเท่ากับ 0.66±0.06 0.60±0.04 และ 0.60±0.01 เซนติเมตร และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวตัวของกุ้งก้ามกรามทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยความยาวตัวของกุ้งก้ามกรามได้แสดงไว้ในตารางที่4 และ ภาพที่1

ตารางที่4 ค่าเฉลี่ยความยาวตัวของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ

ชุดการทดลอง	ความยาวของกุ้งก้ามกราม (เซนติเมตร)
1	0.66±0.06[a]
2	0.60±0.04[a]
3	0.60±0.01[a]
p-value	0.462

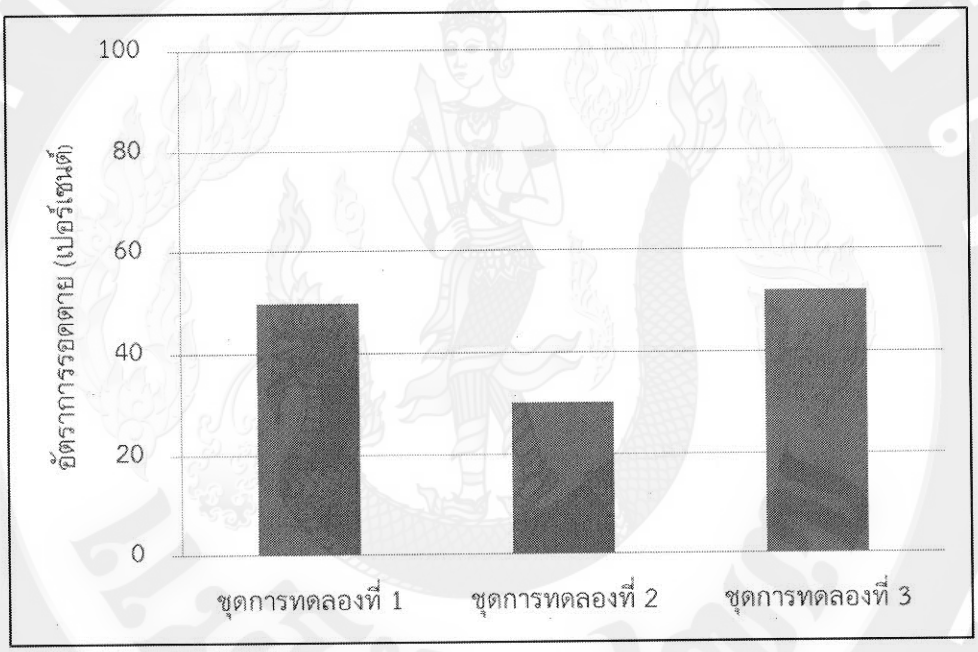
ภาพที่1 ค่าเฉลี่ยความยาวตัวของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ

<u>เก็บข้อมูลอัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกราม</u>

จากผลการทดลองการเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่ลดการปล่อยของเสียด้วยน้ำหมุนเวียน พบว่า ชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะส่งผลให้อัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกราม มีค่าเท่ากับ 50±1 30±2 และ 52±2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า จะมีเพียงค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามจากชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน ที่ให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ โดยค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามได้แสดงไว้ในตารางที่5 และ ภาพที่2

ตารางที่5 ค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ

ชุดการทดลองที่	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
1	50±1[a]
2	30±2[b]
3	52±2[a]
p-value	0.00



ภาพที่2 ค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามหลังการอนุบาลที่แตกต่างกัน 3 แบบ

ปริมาณแร่ธาตุในน้ำ

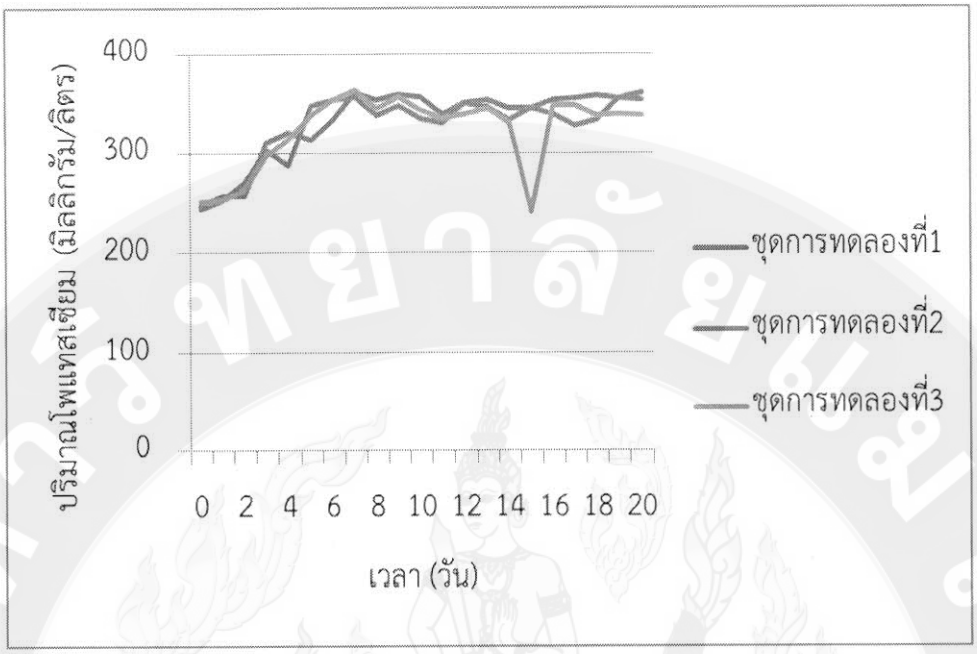
ปริมาณโพแทสเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำ พบว่า ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 332±36.2 326±34.0 และ322±37.7 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมในน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมในน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่6 และ ภาพที่3 ซึ่งโดยปกติปริมาณโพแทสเซียมในร่างกายของสัตว์น้ำจะมีปริมาณสูงกว่าภายนอกร่างกาย (ส่งศรี, 2533) เนื่องมาจากลูกกุ้งมีความสามารถในการปรับสมดุลการเข้า ออก ของโพแทสเซียมในร่างกายได้และปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมีประโยชน์ โดยลูกกุ้งจะดึงโพแทสเซียมไปใช้เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ เพื่อให้กุ้งมีการเจริญเติบเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ตารางที่6 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำใน (มิลลิกรัม/ลิตร)			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	247±12.5	244±17.7	251±37.4	
1	257±11.5	253±20.8	253±50.3	
2	257±11.5	270±17.3	263±50.3	
3	310±10.0	303±20.8	297±41.6	
4	320±20.0	287±20.8	313±41.6	
5	313±20.8	347±20.8	337±50.3	
6	333±11.5	353±20.8	353±58.6	
7	360±20.0	357±40.4	363±61.1	
8	353±14.4	337±23.1	345±49.2	
9	359±18.6	347±27.9	357±49.3	
10	357±27.5	335±18.0	343±44.8	
11	338±23.6	330±5.0	335±31.2	
12	350±22.9	350±10.0	338±38.2	
13	353±35.1	345±27.3	345±40.9	
14	345±44.4	333±15.3	330±21.8	
15	344±27.1	345±21.8	241±180.8	
16	353±11.5	338±16.1	347±5.8	
17	355±17.3	327±20.8	347±15.3	
18	357±15.7	334±19.8	337±28.9	
19	355±25.0	355±21.8	338±36.2	
20	360±20.8	353±12.6	337±28.9	
ค่าเฉลี่ย	332±36.2[a]	326±34.0[a]	322±37.7[a]	0.672
min	247	244	241	
max	360	357	363	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่3 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

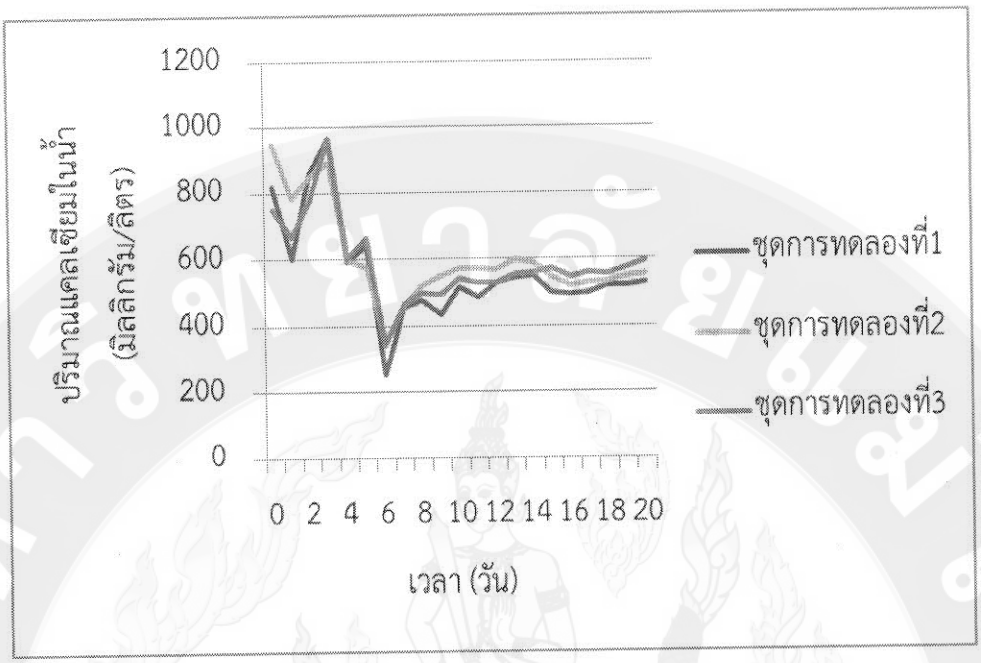
ปริมาณแคลเซียมในน้ำ

ปริมาณแคลเซียมในน้ำ พบว่า ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 563±154.2 604±143.9 และ 589±126.1 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่6 และ ภาพที่3 ซึ่งโดยปกติปริมาณแคลเซียมจะเป็นสารประกอบสำคัญของโครงสร้างภายนอก (exoskeleton) ของกุ้ง และแหล่งที่มาของแคลเซียม ได้จากน้ำและอาหาร (ประจวบ, 2537) กุ้งใช้แคลเซียม ควบคู่กับฟอสฟอรัสโดยมีการย่อยเป็นโมเลกุลเล็กก่อนจึงดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ การดูดซึมแคลเซียมจะทำได้ดีขึ้นถ้ามีวิตามินดีอยู่ด้วย

ตารางที่7 ปริมาณแคลเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ปริมาณแคลเซียมในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	818±124.4	946±57.8	751±269.4	
1	604±153.4	786±123.4	668±289.5	
2	856±47.5	850±119.7	775±57.9	
3	965±161.2	890±77.3	965±196.4	
4	596±41.1	601±201.7	604±125.8	
5	641±40.1	580±269.4	663±144.4	
6	254±36.1	353±146.9	347±171.2	
7	460±424.9	462±256.6	468±282.4	
8	481±289.0	521±243.8	502±238.0	
9	436±264.2	550±165.5	494±257.7	
10	516±165.5	574±108.8	545±127.3	
11	489±132.4	574±81.1	529±126.0	
12	529±84.5	569±55.5	529±42.4	
13	548±58.0	601±8.0	558±36.1	
14	553±21.2	591±24.5	561±24.0	
15	500±59.1	548±108.2	574±102.1	
16	497±62.6	521±60.5	548±99.6	
17	502±56.9	529±92.4	561±97.5	
18	521±34.9	537±77.3	556±65.3	
19	524±45.6	548±75.8	574±75.8	
20	532±70.0	556±87.9	593±83.3	
ค่าเฉลี่ย	563±154.2[a]	604±143.9[a]	589±126.1[a]	0.639
min	254	353	347	
max	965	946	965	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่4 ปริมาณแคลเซียมในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

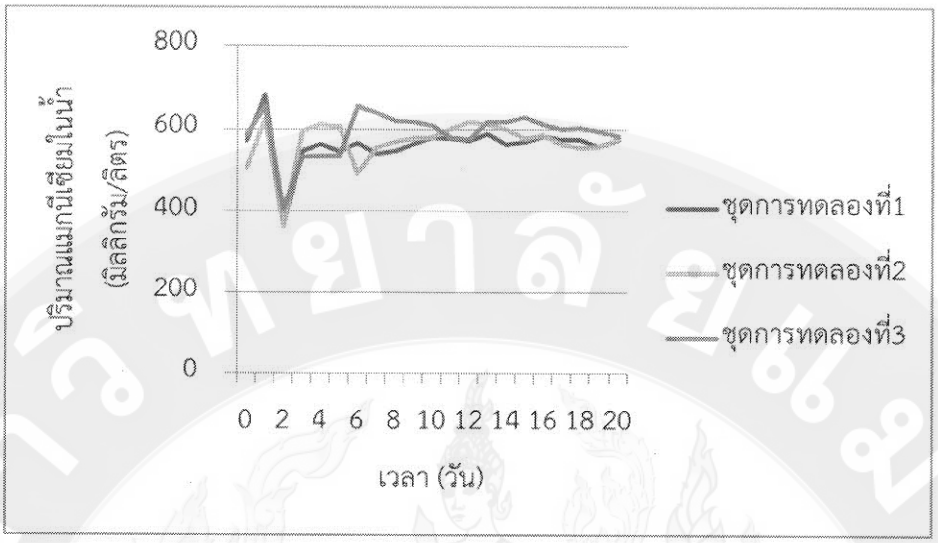
ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำ

ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำ พบว่า ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 562±52.7 568±57.7 และ 590±55.4 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแมกนีเซียมในน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณแมกนีเซียมในน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่6 และ ภาพที่3 โดยทั่วไปแมกนีเซียมส่วนใหญ่อยู่ในโครงสร้างของร่างกายประมาณ 70% ที่เหลือพบในเนื้อเยื่อและเลือด ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ ผลักดันให้แคลเซียมไปสร้างเปลือกที่เป็นสารไคติน (Chitin) โดยมีวิตามินซีเป็นตัวช่วย ทำให้กุ้งลอกคราบเป็นปกติ (ภิญโญ, 2545) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ทำให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น ถ้ามีมากเกิน ทำให้การเต้นของหัวใจช้าลง

ตารางที่8 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	572±92.5	506±49.3	587±98.8	
1	679±55.1	622±25.3	656±153.8	
2	367±39.2	363±2.0	405±80.1	
3	546±44.6	595±63.1	530±83.5	
4	562±15.7	612±49.9	533±90.7	
5	547±35.5	605±52.0	533±77.7	
6	567±76.4	490±26.5	653±46.2	
7	539±26.6	553±65.1	640±17.3	
8	547±50.3	570±36.1	620±34.6	
9	563±51.3	577±38.2	618±24.7	
10	580±30.0	580±26.5	608±24.7	
11	577±25.2	600±20.0	580±26.5	
12	572±6.8	617±7.6	573±18.9	
13	588±7.6	612±12.6	618±53.5	
14	563±55.1	600±10.0	617±28.9	
15	568±7.6	578±7.6	628±10.4	
16	583±5.8	587±15.3	612±10.4	
17	575±5.0	563±15.3	600±20.0	
18	575±15.0	554±9.3	604±19.7	
19	558±10.4	558±10.4	593±11.5	
20	575±11.5	577±2.9	582±12.6	
ค่าเฉลี่ย	562±52.7[a]	568±57.7[a]	590±55.4[a]	0.230
min	367	363	405	
max	679	622	656	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่5 ปริมาณแมกนีเซียมน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

<u>คุณภาพน้ำ</u>

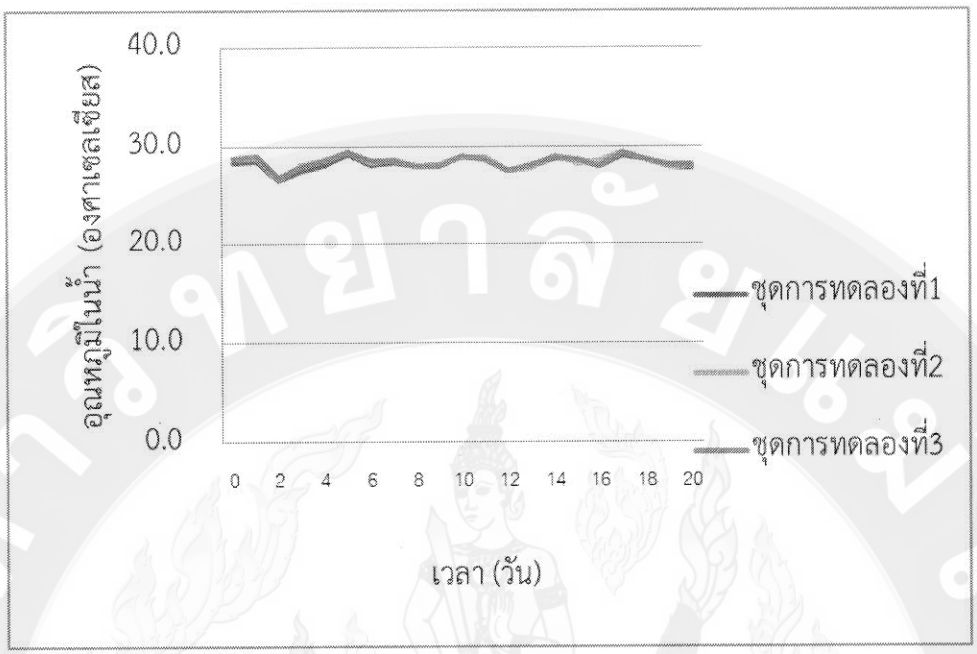
<u>อุณหภูมิน้ำ</u>

อุณหภูมิน้ำตลอดการทดลอง ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.2±0.63 28.4±0.65 และ 28.4±0.64 องศาเซลเซียสตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติพบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่9 และ ภาพที่6 ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำนั้นจะมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะว่าอุณหภูมิน้ำนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการหลายอย่าง เช่น ความสามารถในการละลายของแร่ธาตุและก๊าซ การระเหยของน้ำ การหายใจ การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต การเน่าสลายของอินทรีย์สาร ตลอดจนกระบวนการเมทาบอลิซึม ของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการระเหยของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ คือ ถ้าเกลือแร่ในน้ำเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง 1 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน (ประเทือง, 2534) อุณหภูมิในน้ำยังส่งผลกระทบต่อการขับแอมโมเนียของกุ้ง พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียสและสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส จะทำให้กุ้งขับแอมโมเนียสูงขึ้น (Jiang *et al*., 2000)

ตารางที่9 ค่าอุณหภูมิในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกราม (องศาเซลเซียส)			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	28.3±0.26	28.8±0.15	28.8±0.15	
1	28.4±0.23	28.9±0.12	29.1±0.06	
2	26.5±0.17	26.7±0.15	26.8±0.06	
3	27.5±0.25	28.1±0.20	28.0±0.12	
4	28.1±0.15	28.6±0.12	28.5±0.12	
5	29.2±0.38	29.4±0.15	29.5±0.15	
6	28.0±0.15	28.3±0.06	28.5±0.10	
7	28.3±0.17	28.6±0.15	28.5±0.12	
8	27.9±0.23	28.0±0.10	27.9±0.15	
9	28.1±0.15	28.0±0.06	28.0±0.10	
10	28.9±0.12	28.9±0.10	29.0±0.06	
11	28.6±0.17	28.9±0.12	28.7±0.15	
12	27.5±0.10	27.6±0.21	27.5±0.15	
13	27.9±0.10	27.8±0.25	28.1±0.15	
14	28.8±0.06	29.1±0.10	29.0±0.06	
15	28.7±0.17	28.3±0.25	28.7±0.15	
16	28.0±0.10	28.5±0.15	27.9±0.10	
17	29.1±0.10	29.4±0.06	29.3±0.10	
18	28.7±0.15	28.6±0.23	28.7±0.15	
19	27.9±0.10	28.0±0.10	28.1±0.15	
20	27.8±0.16	28.0±0.10	28.1±0.10	
ค่าเฉลี่ย	28.2±0.63[a]	28.4±0.65[a]	28.4±0.64[a]	0.469
min	26.5	26.7	26.8	
max	29.2	29.4	29.5	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่6 ค่าอุณหภูมิในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

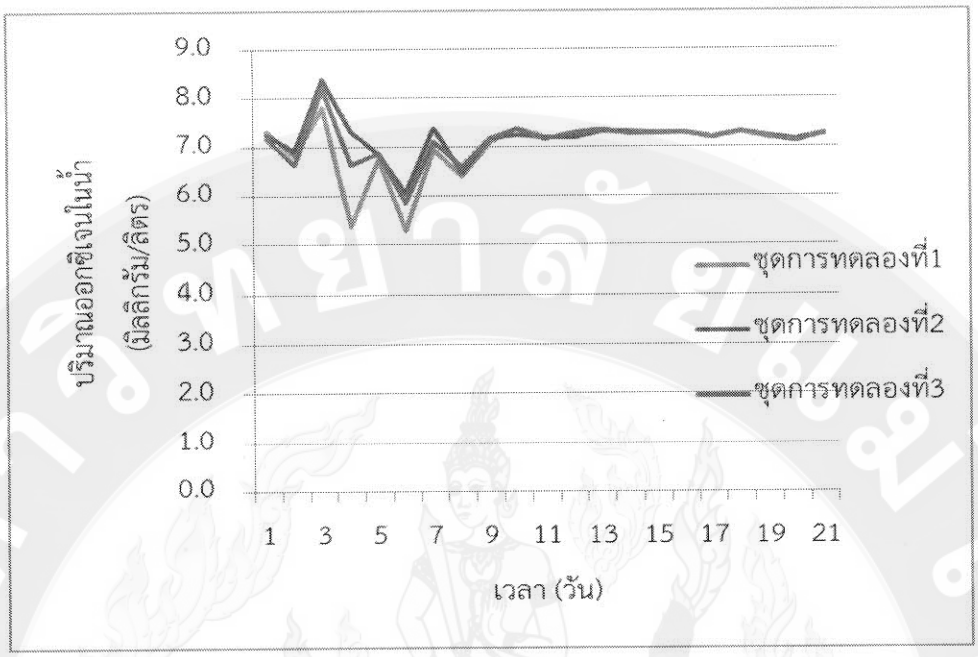
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ตลอดการทดลอง ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.0±0.62 7.2±0.42 และ7.1±0.44 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่10 และ ภาพที่7 โดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen ; DO) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตเหมือนสัตว์อื่นๆ โดยทั่วไปปลาในเขตร้อนจะเกิดอันตรายได้เมื่อในแหล่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นปลาช่อน ปลาหมอ ปลาดุก และปลาสลิด เนื่องจากปลาเหล่านี้จะมีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจ (Acensory Branthing Organ) ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้ง ไม่ควรต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร (ยนต์, 2529)

ตารางที่10 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกราม (มิลลิกรัม/ลิตร)			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	7.3±0.08	7.2±0.03	7.2±0.31	
1	6.8±0.42	6.9±0.10	6.6±0.34	
2	7.8±0.32	8.4±0.14	8.2±0.27	
3	5.4±0.73	7.3±0.70	6.6±0.21	
4	6.8±0.29	6.9±0.32	6.9±0.17	
5	5.3±0.03	6.1±0.21	5.8±0.24	
6	6.9±0.22	7.4±0.19	7.1±0.31	
7	6.4±0.06	6.5±0.24	6.6±0.15	
8	7.1±0.11	7.2±0.04	7.2±0.09	
9	7.4±0.13	7.3±0.05	7.4±0.04	
10	7.2±0.09	7.2±0.04	7.2±0.10	
11	7.2±0.07	7.2±0.11	7.3±0.16	
12	7.3±0.11	7.3±0.10	7.4±0.09	
13	7.3±0.09	7.3±0.02	7.3±0.03	
14	7.3±0.01	7.3±0.03	7.3±0.03	
15	7.3±0.01	7.3±0.02	7.3±0.01	
16	7.2±0.03	7.2±0.02	7.2±0.04	
17	7.3±0.06	7.3±0.05	7.3±0.03	
18	7.2±0.02	7.2±0.03	7.2±0.02	
19	7.2±0.05	7.2±0.07	7.1±0.02	
20	7.2±0.07	7.3±0.05	7.3±0.12	
ค่าเฉลี่ย	7.0±0.62[a]	7.2±0.42[a]	7.1±0.44[a]	0.447
min	5.3	6.1	5.8	
max	7.8	8.4	8.2	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

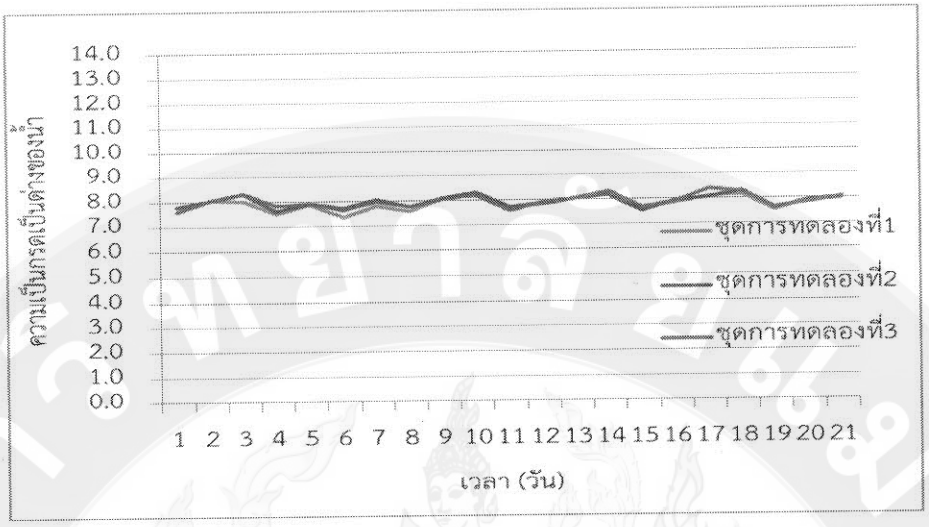
ความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำตลอดการทดลอง ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.9±0.26 7.9±0.24 และ8.0±0.25 ตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่11 และ ภาพที่8 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 – 9.0 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ จะส่งผลทางอ้อมซึ่งจะทำให้สารพิษต่าง ๆ มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างจะเพิ่มความเป็นพิษของแอมโมเนีย (ประเทือง, 2534) ระดับความเป็นกรดเป็นด่างที่ 7.4 จะทำให้กุ้งก้ามกรามเจริญเติบโตดีและกินอาหารได้ดีที่สุด ส่วนที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 8.2 จะทำให้อัตรารอดของกุ้งก้ามกรามเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (Chen and Chen, 2003)

ตารางที่11 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	7.8±0.07	7.8±0.12	7.6±0.42	
1	8.1±0.04	8.1±0.08	8.0±0.07	
2	8.0±0.14	8.3±0.02	8.3±0.06	
3	7.5±0.19	7.6±0.14	7.8±0.20	
4	7.9±0.18	7.9±0.05	7.9±0.01	
5	7.4±0.10	7.7±0.10	7.7±0.10	
6	7.8±0.16	8.1±0.06	8.0±0.03	
7	7.6±0.18	7.8±0.02	7.8±0.10	
8	8.1±0.05	8.1±0.06	8.0±0.06	
9	8.3±0.10	8.3±0.06	8.2±0.15	
10	7.7±0.03	7.7±0.10	7.6±0.31	
11	7.9±0.04	7.9±0.05	7.9±0.07	
12	8.1±0.08	8.1±0.05	8.0±0.05	
13	8.3±0.03	8.2±0.14	8.3±0.02	
14	7.6±0.14	7.5±0.21	7.7±0.04	
15	7.9±0.03	8.0±0.06	7.9±0.05	
16	8.1±0.04	8.1±0.08	8.4±0.54	
17	8.2±0.13	8.3±0.02	8.3±0.00	
18	7.5±0.20	7.6±0.14	7.6±0.13	
19	7.9±0.11	7.9±0.05	7.8±0.11	
20	8.0±0.04	8.0±0.01	8.0±0.04	
ค่าเฉลี่ย	7.9±0.26[a]	7.9±0.24[a]	8.0±0.25[a]	0.692
min	7.4	7.5	7.6	
max	8.3	8.3	8.4	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่8 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

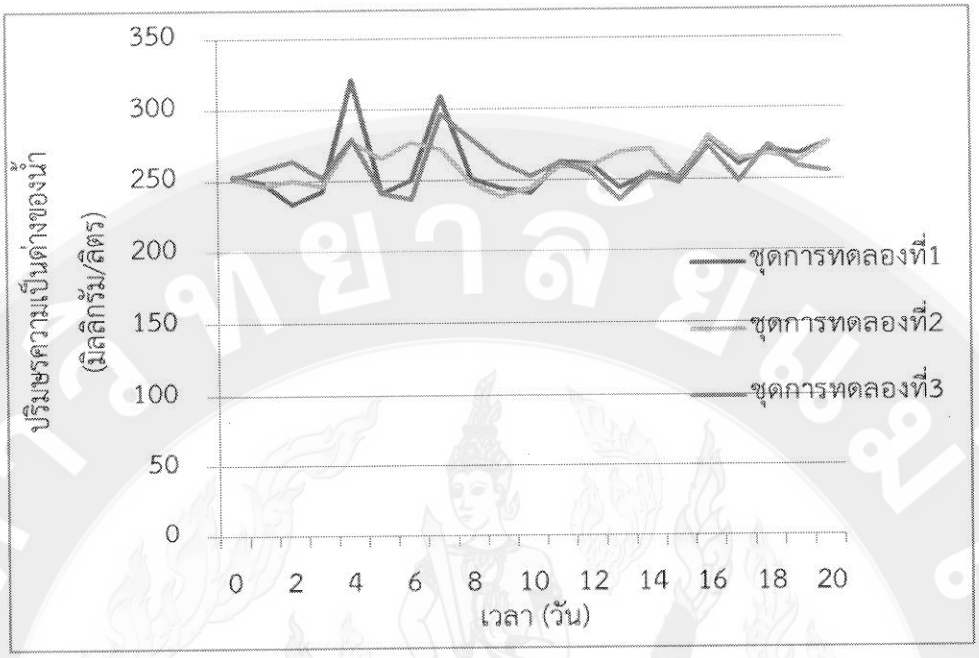
ปริมาณความเป็นด่าง

ปริมาณความเป็นด่างของน้ำตลอดการทดลอง ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.9±0.26 261±12.7 และ259±14.9 มิลลิกรัม/ลิตร ของ $CaCO_3$ ตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณความเป็นด่างในน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณความเป็นด่างในน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่12 และ ภาพที่9 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความเป็นด่างของน้ำเป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเร็วเกินไป ถ้าความเป็นด่างสูงจะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างในรอบวันมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ในทางกลับกัน ถ้าความเป็นด่างต่ำจะส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างในรอบวันรวดเร็วขึ้นซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (ประเทือง, 2534) ค่าความเป็นด่างมีอิทธิพลต่อการทำงานของเอนไซม์ calcium – stimulated dephosphorylating enzyme ซึ่งพบได้ที่เหงือกของกุ้งก้ามกราม ค่าความเป็นด่างที่ปริมาณ 25 และ 250 มิลลิกรัม/ลิตรของ $CaCO_3$ จะทำให้เกิดการทำงานได้ดีที่เหงือกของกุ้ง ที่ปริมาณความเป็นด่างต่ำจะทำให้เอนไซม์นี้ในช่วงที่กุ้งอยู่ระยะหลังลอกคราบทำงานได้ดีกว่าช่วงที่กุ้งอยู่ระยะก่อนการลอกคราบและระยะปกติ แต่ถ้าปริมาณความเป็นด่างสูงการทำงานของเอนไซม์จะดีในกุ้งระยะหลังลอกคราบและระยะปกติ (Latif *et al.*, 1994)

ตารางที่12 ปริมาณความเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ปริมาณความเป็นด่างของน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตรของ$CaCO_3$)			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	253±18.2	251±6.1	251±16.3	
1	249±21.0	246±7.2	257±9.5	
2	233±11.6	250±10.0	263±15.3	
3	243±24.7	246±13.9	252±26.2	
4	320±58.1	277±18.6	279±14.2	
5	241±18.0	265±5.0	241±35.0	
6	250±60.8	277±5.8	237±57.7	
7	309±16.3	271±2.3	296±47.6	
8	251±10.1	247±16.3	279±35.9	
9	244±18.3	239±15.0	261±16.2	
10	241±12.2	245±5.0	253±18.2	
11	263±8.3	259±1.2	261±15.5	
12	261±5.0	259±14.2	255±4.2	
13	245±15.0	269±4.2	236±26.0	
14	253±11.6	271±42.3	254±13.1	
15	251±5.8	248±25.1	247±25.3	
16	279±16.0	281±30.6	273±14.5	
17	260±4.0	264±12.2	248±10.6	
18	271±16.8	267±25.2	274±36.5	
19	267±25.2	263±11.4	258±5.3	
20	275±23.0	276±16.4	255±7.6	
ค่าเฉลี่ย	260±21.2[a]	261±12.7[a]	259±14.9[a]	0.929
min	233	239	236	
max	320	281	296	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่9 ปริมาณความเป็นด่างของน้ำในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

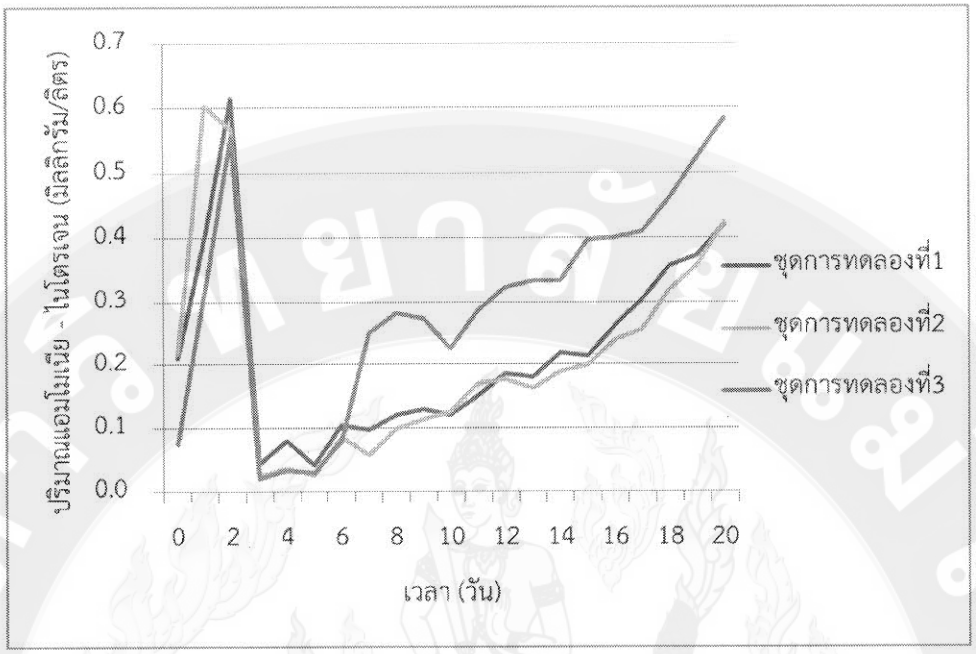
<u>ปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจน</u>

ปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจน ตลอดการทดลอง ในชุดการทดลองที่1 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิดพร้อมกับเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ทุกๆ 2 วัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน และ ชุดการทดลองที่3 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ นั้นจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2±0.15 0.2±0.16 และ0.3±0.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อคำนวณทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจนในน้ำของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจน ในน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่13 และ ภาพที่10 โดยทั่วไปค่าแอมโมเนียรวม (Total ammonia nitrogen) มักจะมีค่าสูงในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการเลี้ยงแบบหนาแน่น (Intensive) และใช้อาหารที่มีโปรตีนสูงระหว่างการเลี้ยงหรือบ่อที่มีอายุการใช้งานมาก เพราะว่าปริมาณแอมโมเนีย ส่วนหนึ่งจะตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมและจะสะสมตัวอยู่ที่พื้นก้นบ่อ จึงอาจส่งผลกระทบต่อตัวสัตว์น้ำ ซึ่งพบว่า อันไอออนไนซ์-แอมโมเนีย นี้เองที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพราะจะส่งผลต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนและขนส่งออกซิเจนของร่างกาย รวมทั้งขบวนการขับถ่ายของเสียออกนอกร่างกาย (มั่นสินและไพพรรณ, 2544) โดยปกติค่าความเข้มข้นของอันไอออนไนซ์-แอมโมเนีย ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าน้อยกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไมตรี, 2528)

ตารางที่13 ปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจน ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3 แบบ

เวลา (วัน)	ปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			p-value
	ชุดการทดลองที่1	ชุดการทดลองที่2	ชุดการทดลองที่3	
0	0.2±0.04	0.2±0.18	0.1±0.01	
1	0.4±0.02	0.6±0.40	0.3±0.00	
2	0.6±0.15	0.6±0.05	0.6±0.04	
3	0.0±0.02	0.0±0.00	0.0±0.01	
4	0.1±0.06	0.0±0.01	0.0±0.01	
5	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.01	
6	0.1±0.06	0.1±0.03	0.1±0.03	
7	0.1±0.05	0.1±0.04	0.3±0.37	
8	0.1±0.06	0.1±0.06	0.3±0.36	
9	0.1±0.06	0.1±0.06	0.3±0.36	
10	0.1±0.04	0.1±0.06	0.2±0.24	
11	0.2±0.05	0.2±0.08	0.3±0.27	
12	0.2±0.04	0.2±0.05	0.3±0.30	
13	0.2±0.02	0.2±0.04	0.3±0.23	
14	0.2±0.03	0.2±0.04	0.3±0.15	
15	0.2±0.04	0.2±0.03	0.4±0.23	
16	0.3±0.03	0.2±0.04	0.4±0.10	
17	0.3±0.03	0.3±0.03	0.4±0.16	
18	0.4±0.05	0.3±0.02	0.5±0.14	
19	0.4±0.01	0.4±0.02	0.5±0.14	
20	0.4±0.10	0.4±0.03	0.6±0.13	
ค่าเฉลี่ย	0.2±0.15	0.2±0.16	0.3±0.17	0.226
min	0.0	0.0	0.0	
max	0.6	0.6	0.6	

หมายเหตุ อักษร a = ที่ไม่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่10 ปริมาณแอมโมเนีย–ไนโตรเจน(มิลลิกรัม/ลิตร)
ในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่แตกต่างกัน 3แบบ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการเสริมโพแทสเซียม แมกนีเซียม ในระบบการอนุบาลกุ้งก้ามกรามที่ลดการปล่อยของเสียด้วยน้ำหมุนเวียน จนกุ้งก้ามกรามมีอายุได้ 30 วัน พบว่า ความยาวของกุ้งก้ามกรามทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) แต่ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในระบบเปิดจะมีความยาวของกุ้งก้ามกรามมีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.66±0.06 เซนติเมตร ส่วนค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามจากชุดการทดลองที่2 ที่มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียนที่ให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าน้อยสุดซึ่งมีค่าเพียง 30±2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียมในน้ำ ของทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) โดยพบว่า ในชุดการทดลองที่1 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบเปิด นั้นจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด เท่ากับ 332±36.2 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนชุดการทดลองที่2 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน จะมีค่าปริมาณแคลเซียมสูงสุดเท่ากับ 604±143.9 มิลลิกรัม/ลิตร และ ชุดการทดลองที่3 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดน้ำหมุนเวียน โดยมีการเสริม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ภายในระบบ จะมีค่าปริมาณแมกนีเซียมในน้ำสูงสุด เท่ากับ 590±55.4 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วน คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำ ก็พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิน้ำ ความเค็มน้ำ ความโปรงแสง ปริมาณความเป็นด่างของน้ำ ปริมาณแอมโมเนียรวม ปริมาณไนไตรท์ ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำ และ ปริมาณสารอินทรีย์ที่กรองได้ ของทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) และอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ ศุภวิญญู, ส่งศรี มหาสวัสดิ์, สมหวัง พิมลบุตร และสุนทราภรณ์ ลิ่มสกุล. 2548. ปริมาณแร่ธาตุบางชนิดในกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนที่อนุบาลด้วยระบบกรองน้ำหมุนเวียน. การเผยแพร่ ประชุมวิชาการครั้งที่ 44 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ .

กิ่งเทียน เรืองตนนอก, สุนทราภรณ์ ลิ่มสกุล, ส่งศรี มหาสวัสดิ์, สมหวัง พิมลบุตร, สุรังษี ทัพพะรังสี และ เรืองวิชญ์ ยุ้นพันธุ์. 2554. การอนุบาลกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยระบบน้ำหมุนเวียน โดยการบำบัดน้ำทางชีวภาพ. การเผยแพร่ ประชุมวิชาการมหาบัณฑิต ครั้งที่ 12, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2535. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพ.

นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร. 2542. เอกสารประกอบการสอนวิชาคาร์ซิโนโลยี. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

บรรจง เทียนรัศมี. 2535. หลักการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประจวบ หลำอุบล. 2537. สรีรวิทยาของกุ้ง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. แผนกประมง คณะสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง, ลำปาง.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2531. การลอกคราบในครัสตาเซีย. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2531. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา, กรมประมง. 18 น.

ไพโรจน์ พวงลดา. 2538. ระยะการลอกคราบของกุ้งกุลาดำในบ่อเลี้ยง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภิญโญ เกียรติภิญโญ. 2545. วิธีปฏิบัติสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว แอล. เวนาไม. ม.ป.ท.

ยนต์ มุสิก. 2529. การเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สิทธิโชค จันทร์ย่อง. 2545. ผลของความเค็มต่างระดับและเกลือแร่บางชนิดต่อการพัฒนารังไข่และวางไข่ของแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวิทย์ ชื่นสินธุ์. 2531. การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. ศูนย์หนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

สุรังษี ทัพพะรังสี. 2551. ความหนาแน่นที่เหมาะสมในการอนุบาลกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในระบบปิด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 66/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ส่งศรี มหาสวัสดิ์. 2533. สรีรวิทยาของสัตว์น้ำ. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ สิงหลกะ และ ชำนาญ สุขพันธุ์. 2523. การเพาะพันธุ์กุ้งก้ามกรามโดยระบบน้ำหมุนเวียนแบบง่ายๆ. วารสารการประมง 33 (5): 521-523.

APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19th ed. United Book Press, Maryland.

Boyd C. E., Thunjai T., Boonyaratpalin M. 2002. Dissolved salts in water for inland, low – salinity shrimp culture. Global Aquac. Advocate 5 (3), 40 – 45.

Boy C. E., Boyd C. A., Chappell J., Hulcher R., Osakes P., Rouse D. B. 2004. Additional best management practices for Alabama Aquaculture. Special Report 3. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.

Chen Su-Mei and Chen Jiann-Chu. 2003. Effect of pH on survival, growth, molting and feed of giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii. Aquaculture (218) : 613-623.

Davis D. A., Boyd C. E., Rouse D. B., Saoud I. P. 2005. Effect of potassium, magnesium, and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei postlarvae* reared in inland low salinity well water in west Alabama. J. World Aquac. Soc. 36, 416 – 419.

Jiang D-H, A. L. Lawrence, W. H. Neill and H. Gong. 2000. Effects of temperature and salinity on nitrogenous excretion by Litopenaeus vannamei juveniles. Journal of experimental marine biology and ecology. (253) : 193-209.

Hagerman, L. 1973. Ionic regulation in relation to the moult cycle of *Crangon vulgaris* (Fagr.) from brackish water. Ophelia. (12): 141-149.

Luk A. R., Davis D. A., Saoud I. P., Henry R. P. 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival growth and respiration of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water. Aquaculture 262 : 461 – 469.

Mantel, L.H. and L.L. Farmer. 1983. Osmotic and Ionic Regulation, pp. 53-162. *In* D. B. Bliss (ed). The Biology of Crustacea Vol 5. Academic Press, New York.

Martin P. V., Davis A. D., Luke A. R., Mayra L. G. 2012. Effects of water temperature and Na+:K+ratio on physiological and production parameters of *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water. Aquaculture 342-343 : 13-17.

McGraw W. J. Scarpa J. 2003. Minimum environmental potassium for survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. J. Shellfish Res. 22, 263 – 267.

Passano, L.M. 1960. Molting and It's Control, pp. 473-534. *In* D.B. Bliss (ed). The Biology of Crustacea Vol. 9. Academic Press, New York.

Stevenson, J.R. 1985. Dynamics of the Integument. pp. 1-42. *In* D.B. Bliss (ed). The Biology of Crustacea Vol 9. Academic Press, New York.

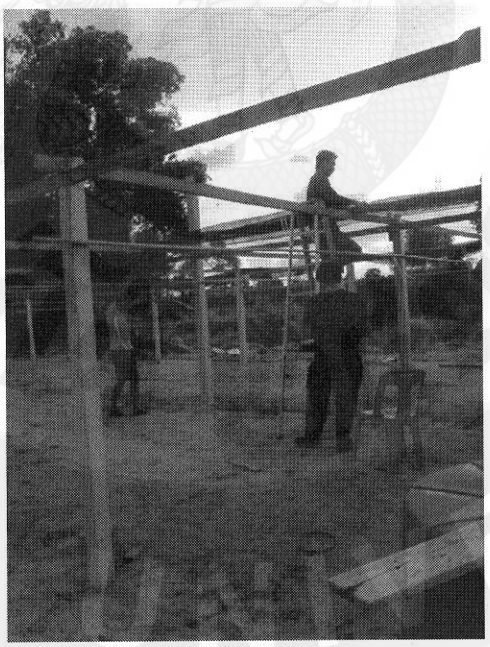
Skinner, D.M. 1986. Molting and Regeneration. pp. 43-146. *In* D.B. Bliss (ed). The Biology of Crustacea Vol. 9. Academic Press, New York.

Uno, Y. and K.C. Soo. 1969. Larval development of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the laboratory. J. Tokyo Uni. Fish. 55(2): 179-190.

Latif M. A., J. H. Bromn and J. F. Wickins. 1994. Effects of environmental alkalinity on calcium-stimulated dephosphorylating enzyme activity in the gills of postmouth and intermounth giant freshwater prawns Macrobrachium rosenbergii (de man). Comparative Biochemistry and Physiology (107A) : 597-601.

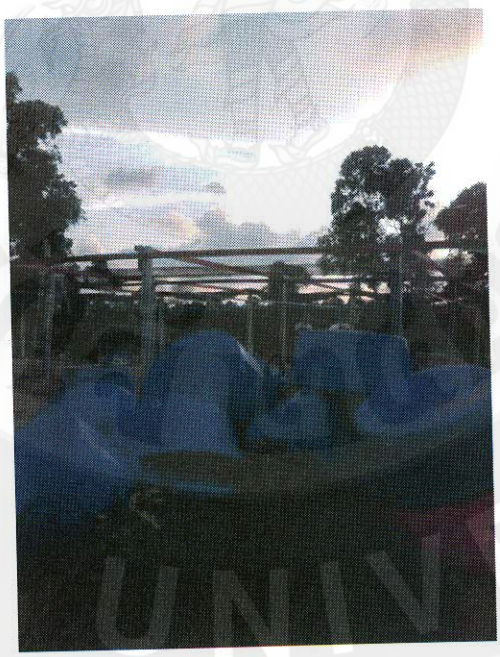
ภาคผนวก

ภาพผนวกที่ 1 การติดตั้งระบบน้ำ ระบบไฟฟ้า ระบบให้อากาศ



ภาพผนวกที่ 2 การติดตั้งเสาปูน เพื่อทำโรงเรือนชั่วคราว

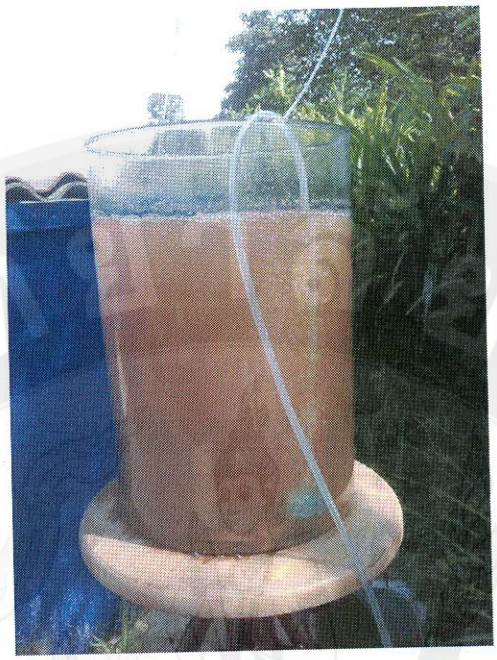
ภาพผนวกที่ 3 การขึงตาข่ายพรางแสง



ภาพผนวกที่ 4 การจัดเตรียมบ่ออนุบาลกุ้งก้ามกราม

ภาพผนวกที่ 5 การเตรียมสาหร่าย เพื่อใช้ในการทดลอง

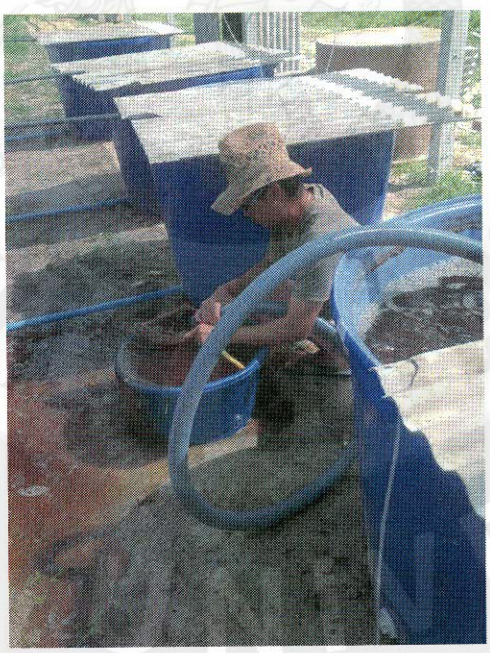
ภาพผนวกที่ 6 การเตรียมลูกกุ้งก้ามกรามเพื่อใช้ในการทดลอง



ภาพผนวกที่ 7 การเตรียมอาหารสำหรับลูกกุ้ง

ภาพผนวกที่ 8 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยระบบน้ำหมุนเวียน

ภาพผนวกที่ 9 การวางบ่อเพื่ออนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยระบบน้ำหมุนเวียน



ภาพผนวกที่ 10 การเก็บข้อมูลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนด้วยระบบน้ำหมุนเวียน