รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การเสริมแร่ธาตุให้ลูกกุ้งก้ามกรามในการอนุบาลในน้ำเค็มที่มีระบบหมุนเวียนแบบปิด

Mineral Supplementary in *Macrobrachium rosenbergii* in Closed Recirculatary System Nursery Tank

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การวิจัยและพัฒนาระบบการผลิตทรัพยากรประมง เพื่อเป็นอาหารปลอดภัยและสร้างมูลค่าเพิ่มวัตถุดิบท้องถิ่น

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2553

จำนวน 177,416 บาท

หัวหน้าโครงการวิจัย นายกระสินธุ์ หังสพฤกษ์

งานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

01/ 03 / 2554

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการเสริมแร่ธาตุให้ลูกกุ้งก้ามกรามในการอนุบาลในน้ำเค็มที่มีระบบหมุนเวียนแบบปิด (MINERAL SUPPLEMENTARY IN *Macrobrachium rosenbergii* IN CLOSED RECIRCULATARY SYSTEM NURSERY TANK) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับการอุดหนุนทุนการวิจัยจาก สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2553 ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณาจารย์ ข้าราชการ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
ผลการวิจัย	32
วิจารณ์ผลการวิจัย	36
สรุปผลการวิจัย	37
เอกสารอ้างอิง	38

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	อัตราการรอด ของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยไรน้ำกร่อย และอาร์ทีเมีย	12
ตารางที่ 2	ระดับความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	13
ตารางที่ 3	สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำทะเลเทียมในสูตรต่างๆ	25
ตารางที่ 4	อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มที่มีการเสริมแร่ธาตุ	35

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ลักษณะภายนอกของกุ้งก้ามกราม	6
ภาพที่ 2	ขาว่ายน้ำคู่ที่ 2 ของกุ้งก้ามกราม เพศเมียซึ่งไม่มี Appendix masculina (ก) เมื่อเทียบกับ เพศผู้ซึ่งมี Appendix masculina (ข)	8
ภาพที่ 3	วงจรชีวิตของกุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ	9
ภาพที่ 4	ถังพลาสติกกลมขนาด 200 ลิตร	29
ภาพที่ 5	บ่อซีเมนต์กลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร	30
ภาพที่ 6	ใยกรองและไบโอบอลที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำ	30
ภาพที่ 7	กระชังผ้าไหมแก้วที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง	31
ภาพที่ 8	แม่กุ้งก้ามกรามที่มีไข่ ระยะต่างๆ	31
ภาพที่ 9	ตัวอ่อนอาร์ทีเมียที่ใช้เป็นอาหารในการอนุบาลลูกกุ้งและไข่อาร์ทีเมียบรรจุกระป๋อง	32
ภาพที่ 10	ปริมาณโซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่ลดลงในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน	33
ภาพที่ 11	อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มชนิดต่างๆ ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันในบ่อที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่มีการเสริมแคลเซียมแมกนีเซียม และแร่ธาตุรวม	34
ภาพที่ 12	ระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มชนิดต่างๆ ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันในบ่อที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่มีการเสริมแคลเซียมแมกนีเซียม และแร่ธาตุรวม	34

การเสริมแร่ธาตุให้ลูกกุ้งก้ามกราม ในการอนุบาลในน้ำเค็มที่มีระบบหมุนเวียนแบบปิด

Mineral supplementary in *Macrobrachium rosenbergii* in closed recirculatary system nursery tank

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์

Krasindh Hangsapreurke

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่เตรียมจากผลเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียม เกลือสินเธาว์ และน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือ นำมาเจือจางให้มีความเค็มที่ระดับ 15 ส่วนในพันส่วน ในบ่อที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดโดยมีการเสริมแร่ธาตุในระหว่างการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 ชุดการทดลอง โดยมีชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการเสริมแร่ธาตุแคลเซียมทุกๆ 5 วัน ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการเสริมแร่ธาตุแมกนีเซียมทุกๆ 5 วัน ชุดการทดลองที่ 4 เป็นการเสริมแร่รวมทุกๆ 5 วัน ชุดการทดลองที่ 5 เป็นการใช้น้ำเกลือสินเธาว์เสริมแร่รวมทุกๆ 5 วัน ชุดการทดลองที่ 6 เป็นการใช้น้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือเสริมแร่รวมทุกๆ 5 วัน ผลการอนุบาลพบว่ามีอัตราการรอดตายของชุดการทดลองที่ 3 (51.33 ± 3.05) ชุดการทดลองที่ 4 (52.00 ± 5.29) และ ชุดการทดลองที่ 6 (60.67 ± 8.33) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนในชุดการทดลองที่ 1 (34.67 ± 4.16) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P>0.05$)กับชุดการทดลองที่ 2 (35.33 ± 5.03) และชุดการทดลองที่ 5 (23.33 ± 4.16) พบว่ามีอัตราการรอดตายต่ำกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P>0.05$) และมีระยะพัฒนาการของลูกกุ้งช้ากว่าชุดการทดลองอื่น

คำสำคัญ: กุ้งก้ามกราม, อนุบาล, ระบบหมุนเวียนแบบปิด

ABSTRACT

Fresh water prawn juvenile nursing in saline water prepared from instant salt for artificial sea water, rock salt and concentrated sea water from salt mine .It was diluted to have the salinity level at 15 out of 1,000 in a closed system circulated pond. Minerals were added during experiment. The experiment was devided into 6 treatment: the first one was the control group; the second one was the adding of calcium for every 5 day; the third one was the adding of magnesium for every 5 day; the fourth one was the adding of minerals for every 5 day; the fifth one was the adding of rock salt and minerals for every 5 day; and the sixth one was the adding of concentrated sea water from salt mine for every 5 day. It was found that there was no statistically significant difference in the survival rate of the third, forth, and sixed replication (51.33 $\pm$ 3.05 , 52.00 $\pm$ 5.29 ,and 60.67 $\pm$ 8.33 ,respectively). Also there was no statistically significant difference among the first, second, and fifth replication (34.67 $\pm$ 4.16 , 35.33 $\pm$ 5.03 , and 23.33 $\pm$ 4.16, respectively). Besider, it was found that there groups had the development period which was longer than others.

Key word: *Macrobrachium rosenbergii*, nursery, closed recirculatary system

คำนำ

กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) เป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศไทย และยังนับว่าเป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกด้วย โดยมีชื่อที่ใช้เรียกทั่วไปว่า Giant River Prawn Giant Malaysian Prawn และ Giant Freshwater Prawn ส่วนชื่อสามัญในภาษาไทยนั้นมีการเรียกอีกหลายชื่อ เช่น กุ้งหลวง กุ้งนาง และ กุ้งใหญ่ ฯลฯ กุ้งชนิดนี้ เป็นกุ้งในวงศ์ Palaemonidae ซึ่งแต่เดิมเคยใช้ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Palaemon carcinus* แต่ชื่อนี้ก็ได้ยกเลิกการใช้เรียกขานไปแล้ว และเนื่องจากการที่กุ้งชนิดนี้มีขนาดใหญ่ และกุ้งที่โตเต็มวัยแล้วมักอาศัยอยู่ในน้ำจืด หรือในน้ำกร่อยที่มีความเค็มต่ำ จึงเป็นเหตุให้มีการทำการประมงโดยการจับอย่างมากจนมีจำนวนลดลงในธรรมชาติ จึงเป็นสาเหตุให้มีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ขึ้น เพื่อทดแทนปริมาณกุ้งที่ถูกจับไปจากแหล่งน้ำในธรรมชาติ และเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

เมื่อมีความต้องการของตลาดสูงขึ้น ทำให้มีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงจนกระทั่งประสบผลสำเร็จ โดยพบว่าในธรรมชาตินั้นกุ้งก้ามกรามเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะอาศัยอยู่ในน้ำจืด เมื่อผสมพันธุ์และมีไข่ติดอยู่ที่ขาว่ายน้ำ (pleopods) หรือที่เรียกว่าแม่กุ้งมีไข่ติดท้อง (berried female) แม่กุ้งก็จะอพยพไปอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย (brackishwater) เมื่อไข่กุ้งที่ติดอยู่ที่ขาว่ายน้ำของแม่กุ้งมีการพัฒนาของตัวอ่อน จะปรากฏให้เห็นโดยสังเกตได้จากสีของไข่ โดยจะเปลี่ยนจากสีเหลือง เป็นสีส้ม หรือที่เรียกว่า "แม่กุ้งไข่ส้ม" (Unripe berried female) และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มปนเทาเมื่อมีพัฒนาการของตัวอ่อนเต็มที่พร้อมจะฟักเป็นตัว หรือที่เรียกว่า "แม่กุ้งไข่เทา" (Ripe berried female) แม่กุ้งจะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยนั้นจนกระทั่งไข่ฟักออกมาเป็นตัวอ่อน (larva) แม่กุ้งบางตัวจะอพยพกลับไปในแหล่งน้ำจืด แต่บางตัวก็ยังคงอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยนั้น (Ling and Merican, 1961)

เมื่อลูกกุ้งฟักออกมาเป็นตัวอ่อนแล้ว หากอยู่ในน้ำจืดจะไม่สามารถลอกคราบ และมีพัฒนาการต่อไปได้ และจะต้องตายทั้งหมดภายใน 4 วัน แต่ถ้าหากอยู่ในน้ำจืดที่มีการนำน้ำทะเลมาผสมในอัตรา 10–30 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ความเค็มประมาณ 8-18 ส่วนในพัน จะสามารถลอกคราบและมีพัฒนาการเติบโตต่อไปได้ โดยจะมีการลอกคราบโดยเฉลี่ยประมาณ 2 วันต่อครั้ง ในช่วง 10 วันแรก หลังจากนั้นจะมีความถี่ของการลอกคราบลดลงเล็กน้อย และจากการลอกคราบนี้เองทำให้สามารถแบ่งลูกกุ้งเป็นระยะๆ ในการพัฒนาของตัวอ่อนได้เป็น 12 ระยะ (Ling, 1962) จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ความเค็มเป็นปัจจัยที่สำคัญในการอยู่รอด และพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

ในปัจจุบันกุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่เกษตรกรให้ความนิยมในการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ทั้งในภาคบริษัทขนาด

ใหญ่ และเกษตรกรรายย่อย ซึ่งในปี ค.ศ. 2000 มีรายงานผลผลิตกุ้งก้ามกรามทั่วโลกถึง118,501 ตัน คิดเป็นมูลค่า 410,001 พันล้านดอลลาร์ (FAO, 2000) ส่วนในประเทศไทยนั้น พบว่าในปี ค.ศ. 2005 มีปริมาณถึง 31,800 ตัน (กรมประมง, 2548) โดยที่ในปัจจุบันได้มีการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามกันอย่างแพร่หลาย ไปจนถึงเขตภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เฉพาะในภาคเหนือในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และพิจิตร มีพื้นที่ที่ใช้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามรวมกันถึง 2,000 ไร่ ยังมีแนวโน้มว่าจะขยายตัวได้อีก ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นบริเวณซึ่งขาดแคลนน้ำเค็ม ทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จในการเพาะฟัก และอนุบาลลูกกุ้ง ทำให้ต้องซื้อลูกกุ้งมาจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในภาคกลาง และต้องทำการขนส่งลูกกุ้งมาโดยการลำเลียงทางบก และทางเครื่องบิน จึงทำให้ลูกกุ้งมีราคาสูงถึงตัวละประมาณ 0.18 บาท ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ดังนั้นปัจจัยในการขนส่งจึงเป็นเหตุทำให้ลูกกุ้ง อ่อนแอ และมีอัตราการรอดตายต่ำ ซึ่งทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนลูกกุ้ง

จากที่กล่าวมาแล้วนั้น พบว่าปัญหาหลักของการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ในพื้นที่ที่ห่างไกลจากทะเลนั้น ก็คือปัญหาเกี่ยวกับน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง การวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มุ่งประเด็นการศึกษาไปที่แหล่งน้ำเค็มจาก 3 แหล่ง คือ น้ำเค็มจากน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือ น้ำทะเลเทียม และน้ำเกลือสินเธาว์ ที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ซึ่งน้ำแต่ละแหล่งจะมีปริมาณแร่ธาตุหลัก ทั้ง 5 ชนิด (โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน) ที่ต่างกัน โดยจะทำการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุและทำการชดเชยแร่ธาตุชนิดนั้นๆ และเปรียบเทียบผลของน้ำเค็มที่เตรียมจากแหล่งต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยคำนึงถึงความสะดวกต่อการนำไปใช้ และอัตราการรอดของลูกกุ้งในระยะโพสลาวา เป็นสำคัญ และต่อจากนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลของความเค็มที่แตกต่างกันในการบ่มไข่ (incubation) ต่อการพัฒนาของตัวอ่อนในไข่กุ้ง อัตราการฟักไข่ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุหลักในน้ำและในพลาสมาของแม่กุ้ง โดยศึกษาอัตราการรอดในการอนุบาลลูกกุ้งที่ทำการบ่มไข่ในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิด จากนั้นจึงนำลูกกุ้งที่ได้จากการบ่มไข่ในน้ำเค็มที่ระดับความเค็มต่างกันไปอนุบาลต่อในน้ำเค็มที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพันในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดเช่นกัน พร้อมทั้งทำการเก็บตัวอย่างน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดตลอดการทดลอง เพื่อศึกษาดูว่ามีแร่ธาตุชนิดใดขาดหายไป จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาทำการชดเชยแร่ธาตุชนิดนั้นๆ เพื่อใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน ในน้ำเค็มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมมาจาก น้ำทะเลเทียม น้ำนาเกลือ และเกลือสินเธาว์ ที่มีผลต่ออัตราการรอด และพัฒนาการของลูกกุ้ง ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มระบบปิด โดยนำผลการศึกษาที่ให้อัตราการรอดสูงสุดเป็นตัวแทนน้ำเค็มในการศึกษาต่อไป

2. เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุที่ขาดหายไปตามข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาในวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนถึงระยะโพสลาวา

ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกษตรกรสามารถผลิตลูกกุ้งก้ามกรามที่ทีคุณภาพและสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ และเพื่อแข่งขันกับตลาดได้

การตรวจเอกสาร

อนุกรมวิธาน ลักษณะภายนอก และชีววิทยาโดยทั่วไปของกุ้งก้ามกราม

1. อนุกรมวิธาน

กุ้งก้ามกรามมีชื่อสามัญหลายชื่อ อาทิเช่น กุ้งหลวง กุ้งนาง กุ้งก้ามเลี้ยง กุ้งใหญ่ และกุ้งแห เป็นต้น กุ้งก้ามกรามมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Macrobrachium rosenbergii* de Man เป็นกุ้งที่อยู่ในวงศ์ Palaemonidae โดยมีอนุกรมวิธานดังนี้

Phylum Arthropoda

Class Crustacean

Order Decapoda

Tribe Caridea

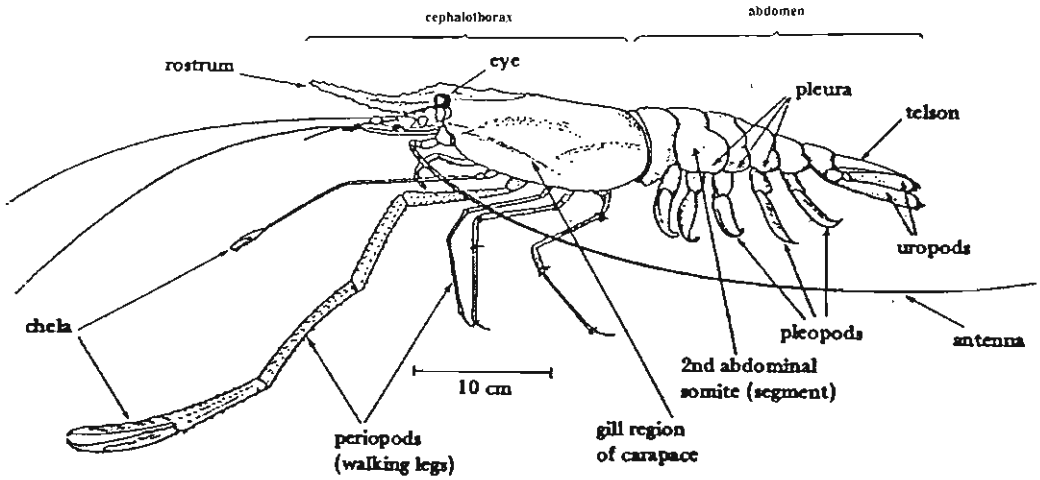
Family Palaemonidae

Genus Macrobrachium

Species *Macrobrachium rosenbergii* (de Man)

2. ลักษณะภายนอกโดยทั่วไป

กุ้งก้ามกรามโตเต็มวัยนั้นเป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด โดยมีน้ำหนักถึง 470 กรัม และมีความยาว 30 เซนติเมตร มีลำตัวเป็นปล้องแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หัว อก และท้อง โดยที่ส่วนหัวและอกจะรวมติดกัน (cephalothorax) โดยมีเปลือกคลุมส่วนหัว และอก ที่เรียกว่า "หัวกุ้ง หรือเปลือกคลุมหัว" (carapace) กุ้งก้ามกรามมีลักษณะภายนอก ที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของกุ้งก้ามกราม

ที่มา: New (1988)

2.1 ลักษณะของเปลือกคลุมหัวและกรี

เปลือกคลุมหัวมีหนามเล็กๆทั่วไปที่บริเวณใต้ตามีหนามเล็กๆ 2 อันคือ antennal spine และ Hepatic spine ส่วนกรีมีลักษณะแบนข้าง โค้งขึ้นมีฟันกรีทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยมีฟันบน

13-16 ซี่ ฟันล่าง 10-14 ซี่ โคนกรีมีความกว้างหนากว่าปลายกรี โคนที่ปลายกรีจะยาวเลยแผ่นฐานหนวดคู่ที่ 2

2.2 ลักษณะของหนวดคู่ที่ 1 และ 2

หนวดคู่ที่ 1 มีรูปร่างปกติโดยที่เส้นหนวดอันบนยาว แบ่งเป็นปล้องเล็กๆจำนวนมากกว่า 100 ปล้อง 2 เส้นนอกยาวมาก ส่วนหนวดคู่ที่ 2 แผ่นฐานหนวด (scaphocerite) มีความยาวเป็น 3 เท่าของความกว้าง

2.3 ลักษณะของขาเดิน

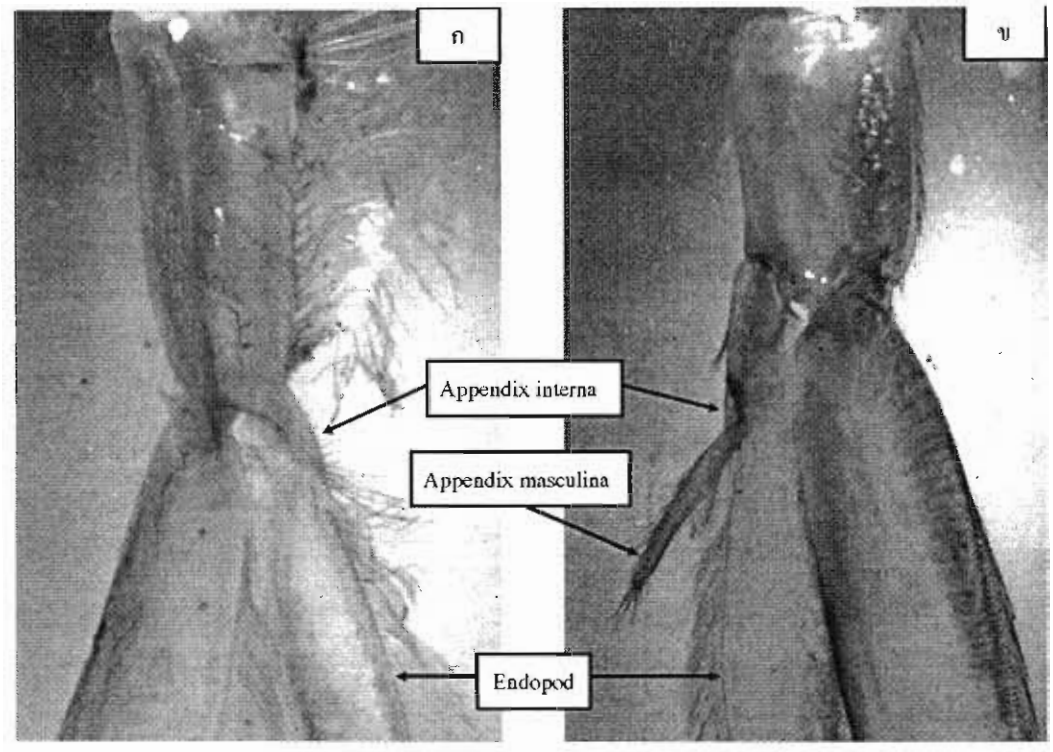
ขาเดินคู่ที่ 1 ของกุ้งก้ามกรามเมื่อนำมายืดตรง พบว่าความยาวครึ่งหนึ่งของปล้องที่ 3 (carpus) จะยาวเลยแผ่นฐานหนวด และส่วนปลายของก้าม (dactylus) จะมีความยาวเท่ากับส่วนของตัวหนีบของปลายปล้องที่ 2 (propodus) ส่วนปล้องที่ 3 จะมีความยาวเป็น 2 เท่าของส่วนก้าม หรือยาว เท่ากับ 4/5 ของปล้องที่ 5

ขาเดินคู่ที่ 2 จะมีลักษณะที่แข็งแรง มีขนาดใหญ่ และยาวกว่าขาเดินคู่แรก ขาเดินของกุ้งก้ามกรามนั้นทั้งด้านซ้าย และขวามีขนาดเท่ากัน และเมื่อนำมาเหยียดตรงจะพบว่า ส่วนของปล้องที่ 4 (merus) จะมีความยาวเลยฐานหนวด ส่วนของก้ามหนีบจะบาง และสั้นกว่า ส่วนโคนก้ามในส่วนขอบด้านในของก้ามหนีบจะมีฟันที่โคน 3-4 ซี่ และปกคลุมด้วยขนอ่อนๆ ตลอดทั้งขา ขาเดินคู่ที่ 2 เป็นลักษณะที่บ่งชี้เพศของกุ้งก้ามกราม โดยในกุ้งก้ามกรามเพศผู้จะมีขนาดใหญ่กว่าเพศเมีย (ภาพที่ 2)

ขาเดินคู่ที่ 3 ในส่วนปลายสุดของขาหรือปล้องที่ 7 (dactylus) มีลักษณะเป็นปลายแหลมธรรมดา ส่วนของปล้องที่ 2 จะมีความยาวมากกว่า 2 เท่าของปล้องปลายสุด หรือประมาณ 1-7 เท่าของปล้องที่ 3 ส่วนขาเดินคู่ที่ 4-5 มีลักษณะปกติโดยไม่มีลักษณะเป็นก้าม และมีความยาวปกติ

2.4 ลักษณะของขาว่ายน้ำ

ขาว่ายน้ำของกุ้งก้ามกรามมี 5 คู่ โดยที่ขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 และคู่ที่ 3-5 จะมีลักษณะที่เหมือนกัน และแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยมีส่วนที่อยู่ด้านใน เรียกว่า endopodite และส่วนที่อยู่ด้านนอก เรียกว่า exopodite ส่วนขาว่ายน้ำคู่ที่ 2 นั้น เฉพาะในกุ้งเพศผู้จะมีอวัยวะซึ่งมีลักษณะเป็นติ่งแยกจากด้านในของ appendix internal ที่เรียกว่า appendix musculina (ประจวบ 2527) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ขาว่ายน้ำคู่ที่ 2 ของกุ้งก้ามกราม เพศเมียซึ่งไม่มี Appendix masculina (ก) เมื่อเทียบกับเพศผู้ซึ่งมี Appendix masculina (ข)

3. ชีววิทยาโดยทั่วไปของกุ้งก้ามกราม

3.1 การแพร่กระจายของกุ้งก้ามกราม

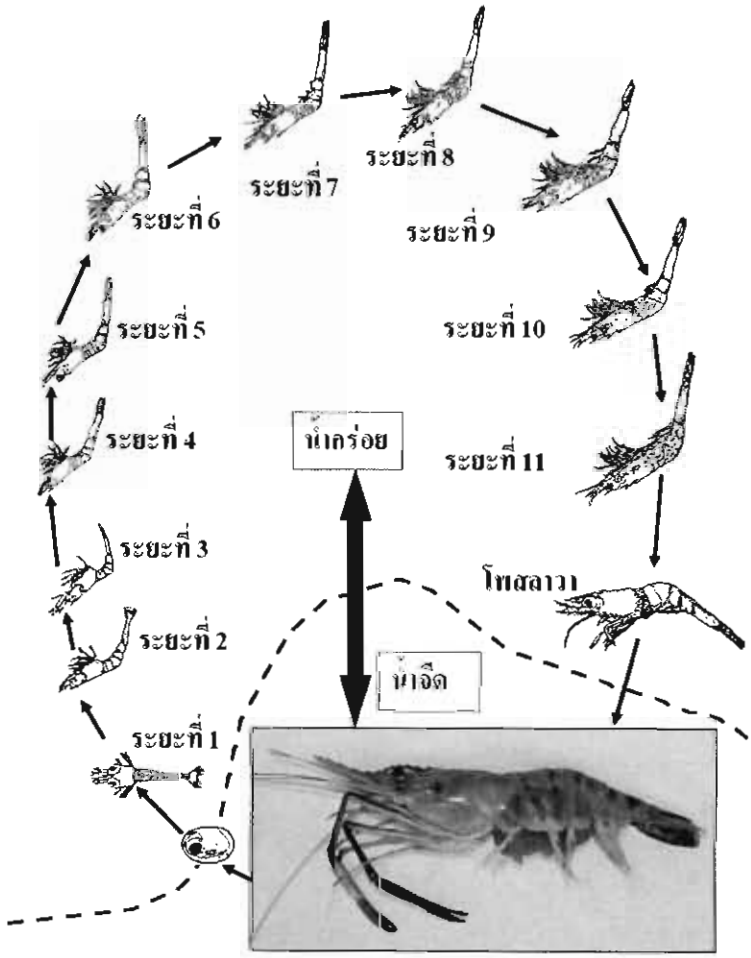
กุ้งก้ามกรามเป็นกุ้งขนาดใหญ่ชนิดหนึ่งที่มีการแพร่กระจายอยู่ในเขตร้อน พบได้ในภูมิภาคอินโด–แปซิฟิกตะวันตก เช่น ประเทศ อินเดีย มาเลเซีย สิงค์โปร์ ไทย บอร์เนียว นิวกินี และฟิลิปปินส์ (ผุสดี, 2529; Arrignon *et al.,* 1994) โดยพบในแม่น้ำ ลำคลอง และแหล่งน้ำทั่วไป ตลอดจนบริเวณปากแม่น้ำในบริเวณที่มีอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ส่วนในประเทศไทยนั้น พบว่า มีกุ้งก้ามกรามกระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ และส่วนใหญ่จะมีความชุกชุมในบริเวณจังหวัดที่ตั้งอยู่บนฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และทะเลสาบสงขลา (จักรดุพร, 2536)

3.2 ชีวประวัติของกุ้งก้ามกราม

กุ้งก้ามกรามนั้นจะเริ่มผสมพันธุ์ และวางไข่ได้ เมื่อมีอายุประมาณ 6-7 เดือน หรือมีความยาวประมาณ 9.8-11.3 เซนติเมตร และสามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ตลอดทั้งปี (ประภาส,

2524; ประจวบ, 2527) ในธรรมชาตินั้นเมื่อกุ้งเพศเมียลอกคราบเสร็จใหม่ๆ กุ้งเพศผู้จะเริ่มเกี้ยวพาราสี และทำการผสมพันธุ์

หลังจากการผสมพันธุ์ประมาณ 6 ชั่วโมง ไข่จะเคลื่อนผ่านท่อนำไข่ออกมาผสมกับน้ำเชื้อเพศผู้แล้วถูกส่งไปยังส่วนท้อง โดยไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิแล้วนั้น จะเกาะติดอยู่กับขาว่ายน้ำของแม่กุ้ง ซึ่งการปฏิสนธิแบบนี้ถือเป็นการปฏิสนธินอกร่างกาย (O' Donovan *et al.,* 1984) ต่อจากนั้นแม่กุ้งจะอพยพเข้าสู่บริเวณน้ำกร่อย เพื่อที่จะวางไข่ และใช้เป็นแหล่งอนุบาลตัวอ่อน และตัวอ่อนต้องมีพัฒนาการ โดยการลอกคราบอีก 11 ครั้ง (ภาพที่ 3) เมื่อลูกกุ้งมีพัฒนาการจนถึงระยะที่ 12 ซึ่งเป็นระยะที่มีการว่ายน้ำในท่าคว่ำ หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า ระยะโพสลาวา (post larva) แล้ว ลูกกุ้งก็ยังคงอาศัยอยู่ในบริเวณน้ำกร่อยต่อไปอีกหลายสัปดาห์ จากนั้นจึงจะอพยพกลับไปยังบริเวณน้ำจืด (Ling, 1969; Sandier *et al.,* 1975)



ภาพที่ 3 วงจรชีวิตของกุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ

ที่มา: อนันต์ และ พจนีย์ (2524); ยนต์ (2529)

3.3 ระยะการพัฒนาของลูกกุ้งก้ามกราม

เมื่อไข่ฟักเป็นตัว ตัวอ่อนของลูกกุ้งก้ามกรามก็จะมีพัฒนาการ โดยมีการลอกคราบเพื่อเข้าสู่พัฒนาการในระยะต่อไปอีก 12 ระยะ ในแต่ละระยะมีรายละเอียดของลักษณะภายนอกที่ปรากฏ ดังนี้

3.5.1 ระยะที่ 1 เมื่อลูกกุ้งฟักออกจากไข่แล้วจะมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 1 โดยที่มีตาขนาดใหญ่อยู่ชิดกันทั้ง 2 ตา ก้านดายังไม่เจริญ กรีมีลักษณะคล้ายหนามแหลมยื่นออกไปตรงระหว่างตาทั้ง 2 ข้าง หางมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมเป็นเยื่อใสบางๆ แนวสุดท้ายของหางเว้าเล็กน้อย แพนหางยังไม่เจริญ มีขนาดประมาณ 1.92 มิลลิเมตร

3.5.2 ระยะที่ 2 ลูกกุ้งมีตามีขนาดใหญ่แยกจากกัน ก้านตาเริ่มเจริญ กรีมีลักษณะคล้ายหนามแหลม และยังคงมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม แพนหางแผ่นนอกเริ่มปรากฏเป็นแนวโค้งอยู่ทางด้านข้างของหาง มีขนาดประมาณ 1.99 มิลลิเมตร

3.5.3 ระยะที่ 3 มีตาและก้านดาที่เจริญขึ้นสามารถกรอกตาไปมาได้ กรีมีความยาวมากขึ้น หางมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว แพนหางอันนอกแยกออกจากหางได้ชัดเจน และเริ่มปรากฏแพนหางอันใน แต่ยังคงซ้อนอยู่ในแผ่นหาง มีขนาดประมาณ 2.14 มิลลิเมตร

3.5.4 ระยะที่ 4 หางของลูกกุ้งมีลักษณะปรากฏเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีฐานโค้งเว้าคล้ายรูปวงเดือน แพนหางอันนอกเจริญขึ้น แพนหางอันในแยกจากแพนหางอย่างชัดเจน ส่วนกรีด้านบนมีฟัน 2 ซี่ มีขนาดประมาณ 2.50 มิลลิเมตร

3.5.5 ระยะที่ 5 ลูกกุ้งในระยะนี้มีกรียาวเกือบถึงแนวหน้าสุดของตา โดยมีปลายเรียบ หางมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า แพนหางอันนอกขยายออกมีความยาวกว่าหางเล็กน้อย แพนหางอันในเจริญขึ้น และมีความยาวเท่ากับหาง ใต้ปล้องท้องเริ่มปรากฏเป็นฐานนูนซึ่งจะเจริญเป็นขาว่ายน้ำในระยะต่อไป มีขนาดประมาณ 2.84 มิลลิเมตร

3.5.6 ระยะที่ 6 ลูกกุ้งมีหาง และแพนหางค่อนข้างยาว ปลายหางแคบ และเรียวขาว่ายน้ำเริ่มมีการเจริญโดยมีลักษณะปรากฏ เป็นปุ่มขาว่ายน้ำ มีขนาดประมาณ 3.75 มิลลิเมตร

3.5.7 ระยะที่ 7 ขาเดินขยายตัวออก แพนหางอันใน และแพนหางอันนอกขยายตัวออก ส่วนปลายของขาว่ายน้ำเริ่มแยกเป็น 2 แฉก และไม่มีขนที่ขาว่ายน้ำ มีขนาดประมาณ 4.06 มิลลิเมตร

3.5.8 ระยะที่ 8 แพนหางอันใน และแพนหางอันนอกขยายตัวออก ส่วนปลายของขาว่ายน้ำเริ่มมีขนขึ้นที่แขนงอันนอก มีขนาดประมาณ 4.68 มิลลิเมตร

3.5.9 ระยะที่ 9 ส่วนปลายของขาว่ายน้ำมีขนขึ้น ที่แขนงอันนอก และที่แขนงอันใน โดยที่แขนงอันในเริ่มปรากฏมีติ่งเล็กๆ มีขนาดประมาณ 6.07 มิลลิเมตร

3.5.10 ระยะที่ 10 ปลายกรีด้านบนมีฟัน 3-4 ซี่ ขาเดินคู่ที่ 1 และ 2 เจริญมาก และมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะส่วนปลายเป็นก้าม มีขนาดประมาณ 7.05 มิลลิเมตร

3.5.11 ระยะที่ 11 มีลักษณะคล้ายคลึงกับระยะที่ 10 แต่บริเวณกรีด้านบนมีฟันหลายซี่ มีขนาดประมาณ 7.73 มิลลิเมตร

3.5.12 ระยะที่ 12 ลูกกุ้งในระยะนี้มีการว่ายน้ำในท่าคว่ำ และว่ายไปข้างหน้า หรือเรียกว่า โพสลาวา (postlarva) กรีมีหนามทั้งด้านบน และด้านล่าง ลูกกุ้งในระยะนี้ จะมีลักษณะเหมือนพ่อแม่ทุกประการ

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ลูกกุ้งก้ามกรามนั้นเมื่อฟักออกจากไข่แล้ว จะเป็นลูกกุ้งวัยอ่อน (larva) ที่มีระยะการพัฒนาทั้งหมดอีก 12 ระยะ ซึ่งในขั้นตอนการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนนั้นจำเป็นต้องใช้น้ำเค็มที่มีความเค็ม 8 -18 ส่วนในพัน และมักจะนิยมใช้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหารในการอนุบาล ในอัตราความหนาแน่น 5 ตัว/มิลลิลิตร วันละ 3-4 ครั้ง โดยที่อัตราความหนาแน่นของลูกกุ้งอยู่ในช่วง 50-100 ตัว/ลิตร ดังนั้นจึงมีผู้ที่คิดค้นวิธีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน ตั้งแต่มีพัฒนาการในระยะที่ 1 จนถึงโพสลาวา โดยมุ่งที่จะพัฒนาให้มีผลผลิตมากที่สุด และลดต้นทุนการผลิตให้มากที่สุด จากการศึกษาจากเอกสาร พบว่ามีวิธีในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามหลากหลายวิธี ดังนี้

1. อาหารที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

การอนุบาลโดยการใช้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหารของลูกกุ้งนั้น นิยมให้ในอัตราความหนาแน่น 5 ตัว/มิลลิลิตร วันละ 3-4 ครั้ง ในช่วงวันที่ 3 ของการอนุบาลเป็นต้นไป โดยอาร์ทีเมียที่ให้นั้น มักผ่านการลวกด้วยน้ำอุ่นก่อน เพื่อให้อาร์ทีเมียเคลื่อนไหวได้ไม่มากนัก ลูกกุ้งจะได้จับกินได้ง่าย และเนื่องจากในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์นั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดต้นทุนค่าอาหาร ซึ่งนิยมใช้เป็นตัวอ่อนอาร์ทีเมีย ดังนั้น เมื่อลูกกุ้งมีอายุ 5-7 วัน เกษตรกรจึงทำการฝึกให้ลูกกุ้งกินอาหารผสม และลดปริมาณอาร์ทีเมียที่ให้ลง โดยอาจให้อาหารผสมสลับกับอาร์ทีเมียในตอนเช้า และเย็น โดยในช่วงระยะหลังๆ ของการอนุบาลเกษตรกรมักจะนิยมให้อาหารผสมซึ่งโดยมากจะเป็นไข่ตุ๋น ซึ่งใช้เป็นเป็นอาหารหลัก และให้อาร์ทีเมียเป็นอาหารเสริม วิธีนี้ต้องหมั่นคอยสังเกตดูอาการของลูกกุ้ง หากพบว่า ลูกกุ้งมีอาการผิดปกติจึงจะหยุดให้อาหารผสมเปลี่ยนมาให้อาร์ทีเมียเพียงอย่างเดียว (ยนต์, 2529; ชลอ และพรเลิศ, 2547)

ตารางที่ 1 อัตราการรอด ของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยไรน้ำกร่อย และอาร์ทีเมีย

อาหารที่ใช้อนุบาล	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)
ไรน้ำกร่อย	24.27
อาร์ทีเมีย	71.99

ที่มา: ยงยุทธ และ อำไพพรรณ (2547)

2. ความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

จากรายงานของ Ling and Merican (1961) ซึ่งได้รายงานว่า แม่กุ้งก้ามกรามในธรรมชาติจะมีความชุกชุมมากในบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นบริเวณน้ำกร่อย ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้เป็นบริเวณที่ยังคงได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และเมื่อนำลูกกุ้งวัยอ่อนมาทำการศึกษาการอนุบาลในตู้ทดลอง พบว่า ตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามนั้น ภายหลังจากที่ฟักออกมาจากไข่แล้ว จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้เกิน 4 วัน ถ้าหากอนุบาลอยู่ในน้ำจืด ทั้งนี้เนื่องจากลูกกุ้งไม่สามารถที่จะลอกคราบ เพื่อให้มีพัฒนาการในระยะต่อไปได้ แต่ถ้าหากทำการอนุบาลตัวอ่อนในน้ำจืดที่ผสมด้วยน้ำเค็มในอัตราส่วน 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ก็จะทำให้ตัวอ่อนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และมีพัฒนาการในระยะต่อไป โดยสามารถลอกคราบได้ทุกๆ 2 วันในช่วง 10 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นความถี่ของการลอกคราบก็จะลดลง จากรายงานฉบับนี้ทำให้ทราบว่าความเค็มของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลตัวอ่อนกุ้งก้ามกรามนั้น มีความจำเป็นต่อการอยู่รอด และพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม และผลจากการศึกษาในครั้งนั้น ก็ทำให้การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนมีพัฒนาการถึงระยะคว่ำ หรือระยะโพสลาวา (post larva) ประสบผลสำเร็จในเวลาต่อมา

จากนั้นก็ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามอีกหลายๆ การศึกษาโดยที่ในประเทศไทยนั้น ไพโรจน์ และ ทรงชัย (2513) ได้รายงานการศึกษาว่ากุ้งก้ามกรามในธรรมชาตินั้น จะมีการผสมพันธุ์จนมีไข่ดิดที่หน้าท้องแล้วก็จะอพยพไปสู่แหล่งน้ำในบริเวณที่มีความเค็มต่ำๆ ประมาณ 3-6 ส่วนในพัน ซึ่งเป็นดังกล่าวเป็นบริเวณที่มักจะจับแม่พันธุ์ที่มีไข่ติดหน้าท้องได้ในธรรมชาติ โดยมีปริมาณที่จับได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกันกับรายงานของ Ling and Merican (1961) อย่างยิ่ง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ระดับความเค็มในช่วงต่างๆ 3 ช่วง คือ 5-7 , 8-10 และ 12-14 ส่วนในพัน จากการศึกษาพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็ม 12-14 ส่วนในพันมีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงกว่าระดับความเค็มในช่วงอื่นๆ

หลังจากนั้นมาก็มีการศึกษาที่เกี่ยวกับความสำคัญ และแหล่งที่มาของน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามเพิ่มอีกหลายครั้ง จนกระทั่ง ยนต์ (2529) ได้รวบรวมและทำการรายงานสรุปได้ว่า น้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น ควรใช้น้ำทะเลที่เจือจางจนมีความเค็มในช่วง 11-17 ส่วนในพัน ส่วนรายงานของ Jayacnandran (2001) ก็ได้รายงานไว้ว่า ความเค็มที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามควรจะอยู่ในช่วง 12-18 ส่วนในพัน ความเค็มนั้นไม่เพียงแต่จะจำเป็นต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม แต่ยังจำเป็นต่อการอนุบาลกุ้งใน Genus เดียวกัน ในspecies อื่นๆ ด้วยเช่น ในการอนุบาลลูกกุ้ง *Macrobrachium acanthurus* นั้นหากอนุบาลในน้ำจืด ลูกกุ้งที่เพิ่งฟักออกมา และมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 1 จะตายทั้งหมด แต่จะมีอัตราการรอดตายสูงสุด ในช่วงความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลที่ 14-21 ส่วนในพัน ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (Ismael and Moreira, 1997) จากที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าระดับความเค็มที่ใช้ในการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น มีความแตกต่างกันบ้าง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	เอกสารอ้างอิง
13-17	ไพโรจน์ และ ทรงชัย, 2513
10-17	อนันต์, 2525
15	ประจวบ, 2527
12	ธานี, 2529
11-17	ยนต์, 2529
15	จักรตุพร, 2536
15	ชลอ และพรเลิศ, 2547
15	ยงยุทธ และ อำไพพรรณ, 2547
10	ธีรวัฒน์ และ จรีภรณ์, 2548
12	วรรณนัฑ และ คมน์, 2548
12-14	Ling and Merican, 1961
12	Menasveta and Piyatiratitivorakul, 1980
12	Tansakul, 1983
12-18	Jayachandran, 2001
15	Thapa, 2002

ความสำคัญของแร่ธาตุต่อการเพาะเลี้ยงและการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ความเค็มของน้ำนั้นมีผลต่อการเพาะเลี้ยง และการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยเฉพาะ โดยมีผลต่อพัฒนาการของตัวอ่อน และพัฒนาการระยะต่างๆ ของลูกกุ้งซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลอกคราบ เนื่องจากในน้ำเค็มมีแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่ในรูปอิออนเช่น Na^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} และ Cl^- อิออนเหล่านี้ เป็นธาตุองค์ประกอบปริมาณมาก (major constituents) ซึ่งจะมีปริมาณเป็นอัตราส่วนต่อความเค็มของน้ำคงที่เสมอ (พิชาญ, 2527; มนูวดี, 2532) ดังนั้นแร่ธาตุชนิดต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำย่อมมีผลโดยตรงต่อการเพาะเลี้ยง และการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม เช่น รายงานของ บุญรัตน์ และคณะ (2545) ได้ระบุว่า กุ้งสามารถได้รับแร่ธาตุต่างๆ ได้จากการกินแล้วดูดซึมแร่ธาตุจากทางเดินอาหาร และการได้รับแร่ธาตุจากน้ำโดยตรง โดยการแพร่ของแร่ธาตุผ่านเหงือก หรือรอยแยกของเปลือกกุ้ง ทั้งนี้ในการที่กุ้งจะสามารถดูดซึมแร่ธาตุได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่ปริมาณแร่ธาตุน้ำ อาหาร และแร่ธาตุที่กุ้งต้องการแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แร่ธาตุที่ร่างกายกุ้งต้องการในปริมาณมาก (Macro minerals) ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ โซเดียม คลอรีน และ แมกนีเซียม แร่ธาตุในกลุ่มนี้กุ้งมีความต้องการไม่ต่ำกว่าวันละ 100 มิลลิกรัม ส่วนแร่ธาตุอีกกลุ่มนั้น เป็นแร่ธาตุที่ร่างกายกุ้งต้องการในปริมาณที่ไม่มาก (Micro / trace minerals) ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) ไอโอดีน (I) โคบอลท์ (Co) นิเกิล (Ni) เซเลเนียม (Se) ฟลูออรีน(F) โมลิบดินัม (Mo) ทิน (Sn) โครเมียม (Cr) สตรอนเทียม (Sr) วานาเดียม (Va) และซิลิคอน (Si)

เนื่องจากปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำ มีความจำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้ง ชลอ และคณะ (2547) จึงได้ทำการศึกษา เพื่อหาระดับความเหมาะสมของอิออนสำคัญ ที่มีต่ออัตราการรอด และการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ ที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ พบว่ามีค่าอิออนหลัก 7 ชนิด ได้แก่ Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ K^+ Cl^- HCO_3^- และ SO_4^{2-} ลดลง หลังจากทำการเลี้ยงไปได้ประมาณ 30-40 วัน และพบว่าในฟาร์มที่มีผลผลิตสูง (ค่าเฉลี่ยของผลผลิต 899 กิโลกรัม/ไร่) มีปริมาณอิออนหลักในน้ำ สูงกว่าฟาร์มที่มีผลผลิตต่ำกว่า (ค่าเฉลี่ยของผลผลิต 560 กิโลกรัม/ไร่)

กุ้งก้ามกรามนั้นมีผู้ที่ได้รายงาน ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีระเคมีในเลือดของกุ้งในแต่ละขนาด และแต่ละระยะการลอกคราบไว้ดังเช่น การทดลองของ Cheng *et al.* (2001) ซึ่งได้รายงานว่า กุ้งก้ามกรามเพศผู้ที่มีขนาดใหญ่ (73.93 $\pm$ 2.73 กรัม) เพศผู้ที่มีขนาดเล็ก (26.04 $\pm$ 1.60 กรัม) และเพศเมีย (24.08 $\pm$ 0.66 กรัม) มีค่า ออสโมลาลิตี้ และระดับอิออน Cl^- Na^+ K^+ ในเลือด ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่มีระดับอิออน Ca^{2+} Mg^{2+} อ๊อกซี่ฮีโมไซยานิน (Oxyhemocyanin) และมีอัตราส่วนของอ๊อกซี่ฮีโมไซยานินต่อโปรตีน ในกุ้งเพศผู้ที่มีขนาดใหญ่ มีอัตราส่วนต่ำกว่าในเพศผู้ที่มีขนาดเล็ก และในเพศเมีย (P<0.05) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าอัตราส่วนของอ๊อกซี่ฮีโมไซ

ยานินต่อโปรตีน ที่มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกระยะลอกคราบ แต่จะมีค่าของอ๊อกซี่ฮีโมไซยานิน และค่าโปรตีนในเลือด (hemolymph protein) ในระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (premoltในระยะ D_1) มีค่าสูงสุด โดยมีค่ามากกว่าในระยะการลอกคราบอื่นทุกระยะ และจะลดลงในระยะก่อนลอกคราบตอนกลางต่อกับตอนปลาย (premolt ในระยะD_2/D_3) ส่วนในระยะหลังลอกคราบใหม่ๆ (early post molt หรือ ระยะA) และระยะหลังลอกคราบ (post molt หรือ ระยะ B) จะมีค่าเท่ากัน แต่ก็จะมีค่าน้อยกว่าในระยะ D_2/D_3 และจะเพิ่มขึ้นในระยะคราบแข็งต่อกับระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (intermolt ระยะC/ระยะก่อนลอกคราบตอนต้น D_0) ซึ่งในระยะนี้ มีค่าเท่ากับ ระยะก่อนลอกคราบตอนกลางต่อกับตอนปลาย (ระยะ D_2/D_3) และมีออสโมลาลิตี้ คลอรีน โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม ในเลือดแตกต่างกันไป

จากรายงานผลการศึกษาของ จักรตุพร (2536) ที่ได้ทำการศึกษา ระดับของแมกนีเซียมและโพแทสเซียมอิออน ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำที่มีระดับของแมกนีเซียมอิออน 400 ส่วนในล้าน และระดับโพแทสเซียมอิออน 300 ส่วนในล้าน มีอัตราการรอดตายสูงสุด ดังนั้นหากพิจารณาความสำคัญของแร่ธาตุในแต่ละชนิดแล้วพบว่า มีความสำคัญแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด ดังนี้

1. แคลเซียม

แคลเซียม เป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกกุ้ง และปู ส่วนในร่างกายนั้นพบว่า จะมีสะสมอยู่ที่ตับ และตับอ่อน (hepatopancreas) ในรูปเกลือแคลเซียมฟอสเฟต นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า แคลเซียมยังมีการสะสมอยู่ในเลือด และในเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ ของร่างกาย (ประจวบ, 2537) แคลเซียมนั้นนอกจากจะทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบหลักในเปลือกแล้ว ยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด และการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน โดยทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ช่วยให้การย่อยคาร์โบไฮเดรทเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และรวดเร็ว กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ATPase ควบคุมการเต้นของหัวใจ และการทำงานของระบบประสาทที่รอยต่อกับกล้ามเนื้อ (ชลอ และคณะ, 2547)

แคลเซียม เป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างเปลือก โดยทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกของสัตว์ในกลุ่ม กุ้ง และปู ตัวอย่างเช่นในปูทะเล (*Scylla serrata*) ซึ่งแม้ว่าจะมีปริมาณแคลเซียมในเลือดที่ค่อนข้างต่ำ แต่ก็มีระดับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมในเลือดที่คล้ายคลึงกับโซเดียม คลอรีน และโพแทสเซียม โดยที่มีปริมาณในเลือดที่เพิ่มขึ้น เมื่อระดับความเค็มของน้ำภายนอกเพิ่มสูงขึ้น (Pratoomchat *et al.*, 2002)

ตามที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ครัสตาเซียนเมื่อย้ายจากน้ำความเค็มสูงไปสู่น้ำความเค็มต่ำจะทำให้ค่า pH ของเลือดมีค่าสูงขึ้น (metabolic alkalosis) เนื่องจากเมื่อความเค็มน้ำต่ำลง ทำให้

ค่า pH ของน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงแบบแปรผันตรงกัน โดยจะมีค่า pH ต่ำลง คือ มีสภาพเป็นกรดมากขึ้น (มี H^+ มากขึ้น) และคาดว่าน่าจะมีผลทำให้เลือดกุ้ง มีสภาพเป็นกรดมากขึ้นด้วย ซึ่งสภาพที่เป็นกรดนี้จะมีผลต่อการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากเปลือกเก่าในรูปของแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) จึงทำให้ปริมาณของแคลเซียมอิออน และไบคาร์บอเนตในเลือดสูงขึ้น (Machado *et al.*, 1988) และเมื่อเลือดปูมีไบคาร์บอเนตสูงขึ้นก็จะส่งผลทำให้มีค่า pH สูงขึ้น (Henry and Cameron, 1982)

ไม่เพียงแต่แคลเซียม และไบคาร์บอเนต สารอินทรีย์อื่นๆ ก็มีการละลายเข้าสู่กระแสเลือดด้วย ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) เพราะสัตว์จะต้องทำการปรับสภาพความสมดุลของเกลือแร่อย่างมาก ดังนั้น เมื่อความเค็มน้ำภายนอกมีระดับต่ำ หรือสูงจนเกินไปกว่าความสามารถของสัตว์จะปรับตัวให้เข้ากับความเค็มได้ที่เปลี่ยนแปลงนั้นได้ ก็จะเกิดความเครียดจากการปรับสมดุลออสโมติก (osmotic stress) จึงส่งผลให้มีกิจกรรมการใช้พลังงาน และมีการขับถ่ายของเสียซึ่งอยู่ในรูปของแอมโมเนียมากขึ้น ซึ่งพบในครัสตาเชียนหลายชนิด (Mangum *et al.*, 1976 ; Regnault, 1984 ; Rosas *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการดีอมิเนชั่น (deamination) ซึ่งมีการขจัดเอาหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ออกจากสารประกอบของกรดอะมิโนอิสระภายในเซลล์ เพื่อนำไปใช้รักษาสมดุลปริมาตรของเซลล์ ทำให้ระดับของแอมโมเนียในเลือดสูงขึ้น เช่นในปู *Callinectes sapidus* (Mangum *et al.*, 1976) รวมทั้งการลดลงของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ในเลือด ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการที่ไฮโดรเจนอิออนเกิดพันธะกับแอมโมเนีย ซึ่งเกิดขึ้นในปฏิกิริยา catabolism ของกรดอะมิโนอิสระ ทำให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เลือดมีค่า pH สูงขึ้นด้วย (Weiland and Mangum, 1975)

ด้วยสาเหตุต่างๆ ดังกล่าวนี้ ที่ระดับความเค็มน้ำต่ำ ความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดน่าจะมีสูงกว่าน้ำความเค็มสูง แคลเซียมจะถูกดูดซึมกลับจากเปลือกเข้าสู่ระบบเลือด เพราะในน้ำความเค็มต่ำ จะมีแคลเซียมอยู่ในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับในน้ำความเค็มสูงกว่า ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Haefner (1964) ที่ได้รายงานถึง ความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงระหว่างน้ำหนักเปลือกปู *C. sapidus* ระยะหลังลอกคราบ (postmolt) กับความเค็มน้ำภายนอก โดยพบว่าปูที่อยู่ในน้ำความเค็ม 10 ส่วนในพัน จะมีน้ำหนักเปลือกน้อยกว่าปูที่อยู่ในน้ำความเค็ม 30 ส่วนในพัน และได้อธิบายว่า ความแตกต่างของน้ำหนักเปลือกปู มีสาเหตุจากการสะสมแคลเซียมที่มากขึ้นในเปลือกปูที่อยู่ในน้ำความเค็มสูง ซึ่งที่น้ำความเค็มสูง จะมีแคลเซียมสำหรับปูมาก ปูจึงมีการดึงไปเก็บสะสมไว้เพื่อในการสร้างเปลือกได้มาก ส่งผลทำให้ปูที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูงกว่ามีน้ำหนักเปลือกมากกว่าที่น้ำความเค็มต่ำ นอกจากนี้รายงานของ Travis and Friberg (1963) ก็ได้อธิบายไว้ว่าปริมาณของแคลเซียมที่สะสมในเปลือกชั้นนอก (exocuticles) และเปลือกชั้นใน (endocuticles) ของ crayfish *Orconectes virilis* นั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมอิออนในน้ำภายนอก

คือ ถ้าน้ำภายนอกมีความเค็มสูง ก็จะมีแคลเซียมอิออนปริมาณสูง และทำให้มีการสะสมแคลเซียมในเปลือกชั้นนอก และเปลือกชั้นในมากขึ้น และแม้ว่าแคลเซียมบางส่วนจะมีการสะสมไว้ในเลือด และต่อมในลำไส้ตอนกลาง (midgut gland) ของสัตว์ก่อนที่จะลอกคราบอยู่ก่อนแล้ว แต่แคลเซียมส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำให้เปลือกแข็งขึ้นก็ได้รับมาจากน้ำทะเลภายนอก (Travis, 1955; Price Sheets and Dendinger, 1983)

หลังจากที่แคลเซียมเคลื่อนย้าย และมีการสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ในระบบเลือดก็อาจจะทำให้เกิดความเป็นพิษสำหรับปูทะเลได้ ถ้ามีแคลเซียมปริมาณมากเกินไป ดังนั้นสัตว์จึงต้องพยายามขับแคลเซียมออกจากเลือดไปสู่อวัยวะอื่นๆ เพื่อลดความเข้มข้นของแคลเซียมลง เช่น ที่ต่อมในลำไส้ตอนกลาง และในตับและตับอ่อน (hepatopancreas) และจะเก็บสะสมเอาไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นเมื่อปูทะเลเข้าสู่ระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย (ระยะ D_3) ก็จะดึงแคลเซียมเหล่านั้นออกมาใช้ สำหรับเป็นโครงสร้างของคิวติเคิลใหม่ที่จะสร้างเป็นเปลือกต่อไป ดังนั้นในการอธิบายถึงการแพร่กระจายของแคลเซียมในร่างกายสัตว์ จึงแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำภายนอกร่างกาย ซึ่งจัดเป็นแหล่งแคลเซียมหลักสำหรับสัตว์น้ำ ที่จะดึงไปสะสมที่เปลือก (Travis, 1953, Dall, 1965 อ้างโดย Price Sheets และ Dendinger, 1983)โดยแคลเซียมจะเข้าสู่ตัวปูโดยผ่านทางเหงือก และเก็บรักษาเอาไว้ในเลือด (Dall, 1965; Price Sheets and Dendinger, 1983) ดังนั้นเลือด จึงเป็นแหล่งของแคลเซียม ส่วนที่ 2 จะอยู่ในส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ในเลือด โดยเฉพาะแคลเซียมจะถูกดึงจากเลือดด้วยกลไกแบบใช้พลังงาน (active transport) เข้าสู่ไฮโปเดอร์มอลเซลล์ (hypodermal cells) และนำไปเก็บในเลือดซึ่งจัดเป็นส่วนที่ 3 ต่อไป (Drach, 1939, Travis, 1955, Wateman, 1960, Haefner, 1964; Price Sheets and Dendinger, 1983) สำหรับแหล่งของแคลเซียมส่วนที่ 4 ก็คือ ต่อมในลำไส้ตอนกลาง ซึ่งจะเป็นส่วนที่เก็บสะสมแคลเซียมในช่วงระยะก่อนลอกคราบ (Glynn, 1968) ดังนั้นต่อมในลำไส้ตอนกลาง จึงจัดเป็นแหล่งแคลเซียมสำรองที่จะจ่ายให้แก่เปลือกโดยผ่านทางเลือดในช่วงเวลาที่เหมาะสม คือ ช่วงระยะหลังลอกคราบ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของแคลเซียมจากน้ำภายนอกเข้าสู่เปลือกสัตว์ จึงขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของส่วนต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น และความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือด ที่ความเค็มน้ำแตกต่างกันก็น่าจะได้รับผลกระทบจากปริมาณการสะสมในเปลือกเป็นส่วนสำคัญ

นอกจากนี้ยังมีหลักฐานจากงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า เอนไซม์คาร์บอนิคแอนไฮเดรส (carbonic anhydrase) จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นในอิพิเดอร์มิส (epidermis) ของครัสตาเซียนที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำ หรืออยู่ในระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย และระยะหลังลอกคราบ (Henry and Kormanik, 1985) เพราะว่าเอนไซม์นี้ มีบทบาทสำคัญ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมและการใช้แคลเซียมเพื่อการสร้างเปลือก ดังจะเห็นได้จากการที่เลือดปูทะเลที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำจะมีปริมาณแคลเซียมในเลือดต่ำ ก็อาจจะมีสาเหตุจากการที่น้ำภายนอกมีความเค็มต่ำจะทำให้

ระดับ pH ในเลือดสูงขึ้น และผลที่ตามมา คือ แร่ธาตุที่มีประจุลบ และบวกจะมีโอกาสจับตัวกัน และเกิดการตกตะกอน (precipitation) ได้มากขึ้น ซึ่งเป็นการรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบ เพื่อทำการสร้างเปลือกใหม่ เนื่องจากเป็นช่วงที่ปูเข้าสู่ระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (premolt ในระยะ D_1) ปัจจัยดังกล่าวเป็น การเอื้ออำนวยต่อการสร้างเปลือกใหม่ เพราะการสร้างเปลือกของครัสตาเซียนโดยทั่วไปแล้ว จะเป็นไปได้ดีในสภาวะที่ของเหลวในร่างกาย โดยเฉพาะเลือดที่มีสภาวะเป็นด่างเล็กน้อย โดยมีการนำเอาโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไคตินไปสะสม เพื่อใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ (sclerotinization) ในขณะที่ยังคงเป็นชั้นของอิพิคิวติเคิล (epicuticle) ในระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (ระยะ D_1) และจะมีการนำสารอินทรีย์ดังกล่าว มาทำการสร้างเปลือกร่วมกับกระบวนการสะสมแคลเซียมคาร์บอเนต (calcification) ต่อไปในระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย (ระยะ D_2-D_3) (Pratoomchat *et al.,* 2002a) จากสภาวะดังกล่าวนี้ แคลเซียมอาจจะจับตัวกับโปรตีนหรือสารอื่นๆ ที่มีประจุลบที่มีอยู่ในเลือดดังเช่นที่พบ ในปู *Gecarcinus lateralis* มีแคลเซียมทั้งหมดในเลือด 22 มิลลิโมล/ลิตร แต่พบว่า เป็นแคลเซียมที่จับตัวอยู่กับโปรตีนถึง 13.4 มิลลิโมล/ลิตร (Skinner *et al.,* 1965 อ้างโดย Mantel and Farmer, 1983) รวมทั้งที่พบในครัสตาเซียนชนิดอื่นๆ เช่น *Emerita asiatica*, crayfish *Atacus pallipes*, *Orconectes limusus* (Greenaway, 1972; Mantel and Farmer, 1983) และแคลเซียม ที่เกิดพันธะกับสารอื่นนี้ จะถูกดึงเข้าสู่คิวติเคิล หรือเกิดการตกตะกอนชั่วคราว ส่งผลทำให้มีระดับแคลเซียมในเลือดที่น้ำความเค็มต่ำ มีปริมาณลดน้อยลงก็เป็นได้ และถ้าเหตุการณ์เป็นอย่างนี้จริง ที่ระดับความเค็มน้ำต่ำอาจจะช่วยกระตุ้นให้สัตว์มีการสร้างเปลือกใหม่ได้ดีกว่า ส่งผลให้มีการลอกคราบเร็วกว่าที่ความเค็มน้ำสูง เหตุการณ์นี้พบได้ในปูทะเล *S. serrata* ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ (5 ส่วนในพัน) จะใช้เวลาในการลอกคราบสั้นกว่าปูทะเลที่เลี้ยงในน้ำความเค็มสูง (25 และ32 ส่วนในพัน) (บุญรัตน์ และคณะ, 2546)

ในบางกรณีที่ความเข้มข้นของแคลเซียมที่อยู่ในเลือดของสัตว์ที่เลี้ยงในน้ำ ที่มีความเค็มสูงเกินกว่าระดับที่เหมาะสมของสัตว์ชนิดนั้น อาจจะมีค่าความเข้มข้นของแคลเซียมต่ำกว่าระดับความเค็มน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสัตว์ที่อาศัยในน้ำความเค็มสูง จะมีแคลเซียมจากน้ำภายนอกแพร่เข้าสู่ร่างกาย ในปริมาณมากตามความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างที่พบในปู *C. sapidus* และในกุ้งตะกาด *Metapenaeus* sp. ที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูง แต่สัตว์ก็จำเป็นต้องพยายามปรับสมดุลแคลเซียมไม่ให้สูงเกินไปในระบบเลือด เพื่อไม่ให้ร่างกายไม่ได้รับอันตราย จึงพยายามขับแคลเซียมออกจากร่างกาย (Travis, 1953; Dall, 1965; Price Sheets and Dendinger, 1983)

2. แมกนีเซียม

แร่ธาตุแมกนีเซียมนั้น พบว่า เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของร่างกาย ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แต่ส่วนที่พบในเนื้อเยื่อ และเลือด (hemolymph) คิดเป็นอัตราส่วนเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ (ประจวบ, 2537) แมกนีเซียมนั้น เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างเปลือก (Cuticle) ของสัตว์ในกลุ่มกุ้ง และปู โดยจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก และมีแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม และโพแทสเซียม เป็นองค์ประกอบรองลงมา (Pratoomchat *et al.*, 2002a) นอกจากนี้แล้ว แมกนีเซียมยังมีหน้าที่เกี่ยวของกับ Osmoregulation อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากในตัวลูกกุ้งก้ามกรามนั้นมี แร่ธาตุแมกนีเซียม ซึ่งอยู่ในรูปอิออนละลายอยู่ในเลือดอยู่แล้ว ในสภาวะ hypo-ionic นั่น คือ มีปริมาณอิออน Mg^{2+} ในเลือดน้อยกว่าน้ำภายนอกร่างกาย และถ้าหากปริมาณอิออน Mg^{2+} ในน้ำภายนอกร่างกายสูงขึ้น กุ้งก็จะต้องขับอิออน Mg^{2+} ส่วนเกินออกไป ซึ่งในการกำจัดนี้สามารถทำได้ 2 วิธี โดยที่กุ้งจะขับอิออน Mg^{2+} ออกทางต่อมแอนเทนนอล (antennal gland) ซึ่งมีหน้าที่ขับเกลือแร่ส่วนเกินออกจากร่างกายภายใน 24-36 ชั่วโมง แต่ก็ยังมีอิออน Mg^{2+} ส่วนเกินหลงเหลืออยู่ประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะถูกขับออกมาพร้อมกับของเสียทางยูรีน (Holiday, 1980) ในการขับอิออน Mg^{2+} ออกมากับยูรีนนั้น จะมีปริมาณมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณอิออน Mg^{2+} ในกระแสเลือด และปริมาณยูรีนที่กุ้งผลิตขึ้นเอง (Lockwood, 1967) หากร่างกายกุ้งไม่สามารถขับอิออน Mg^{2+} ส่วนเกินออกไปได้หมดอิออน Mg^{2+} ที่มีอยู่มากเกินไป ก็จะไปยับยั้งการถ่ายทอดสัญญาณประสาท (Robertson, 1960) โดยไปลดการปล่อยสารอะซิติลโคลีน (acetyl choline) ที่ปลายประสาท นอกจากนี้แล้วแมกนีเซียม ยังทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ให้ทำงานดีขึ้น โดยเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่จะเปลี่ยน ATP ให้เป็น ADP ซึ่งเกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน และการเจริญเติบโต และยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการยืดตัว และหดตัวของกล้ามเนื้อร่วมกับแคลเซียมอีกด้วย (ประจวบ, 2537; ชลอ และคณะ, 2547)

3. โซเดียม คลอไรด์ และ โพแทสเซียม

แร่ธาตุโซเดียม คลอรีน และโพแทสเซียมนั้น เป็นแร่ธาตุที่มีการปรับตัวตามระดับความเค็มของน้ำภายนอกร่างกายสัตว์ โดยที่ความเค็มจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม เช่นในพลาสมาปูทะเล ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน ปริมาณของธาตุโซเดียม คลอรีน และโพแทสเซียม จะมีความเข้มข้นต่ำที่สุด และจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อความเค็มน้ำสูงขึ้น ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพันโดยที่ปริมาณของธาตุโซเดียมมีค่าสูงที่สุดทุกระดับความเค็มน้ำเมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ ส่วนธาตุคลอรีน และโพแทสเซียม มีค่ารองลงมาตามลำดับ ปริมาณของธาตุทั้ง 3 นี้ มีมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของแร่ธาตุทั้งหมดในเลือด ดังนั้นจึงจัดได้ว่าเป็นธาตุที่ช่วยรักษาสมดุลออสโมติกในเลือด (osmoregulator) กล่าวคือ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง

ระดับความเข้มข้นของธาตุโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ก็จะส่งผลให้ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ผลการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ได้ส่งผลเฉพาะในปูทะเลเท่านั้น แต่ยังรวมถึงในครัสเตเชียนชนิดอื่นๆด้วย เช่นในปู *E. sinensis* และ *C. maenas* (Gilles and Pequeux, 1986) เนื่องจากแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้ มีความเข้มข้นสูงมาก และมีการเคลื่อนที่ย้ายระหว่างอวัยวะต่างๆ และระหว่างภายในกับภายนอกร่างกายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงนับว่ามีบทบาทต่อระบบสมดุลเกลือแร่ในเลือด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโซเดียม และคลอรีน ดังนั้นปริมาณของแร่ธาตุดังกล่าว จึงเพิ่มขึ้นตามความเค็มน้ำโดยมีความสัมพันธ์กับค่าออสโมลาลิตี้ เนื่องจากมีการแพร่เข้ามาผ่านทางเหงือก (influx) จากน้ำทะเลภายนอก

ความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ในเลือดสัตว์จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น และอยู่ในสภาวะ hyper-ionic ซึ่งพบได้ในครัสเตเชียนหลายชนิด เช่น ปู *C. sapidus* (Henry and Cameron, 1982) ปู *Orconectes quadrata* (Santos and Moreira, 1999) ปู *Cancer magister* (Wheatly, 1985) ปูน้ำจืด *Homarus transversa* (Greenaway, 1981) กุ้ง *Crangon crangon* (Hagerman and Uglow, 1982) รวมทั้งกุ้งในกลุ่ม Penaeid อีกหลายชนิด(Castile and Lawrence, 1981) ส่วนกุ้งมังกร *Panulirus longipes* ก็มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมและคลอไรด์ในเลือดตามความเค็มน้ำภายนอกเช่นกัน แต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจะแปรผกผันกับน้ำภายนอก (Dall, 1974) ซึ่งต่างไปจากกุ้งไมสิด (mysid) *Leptomysis mediterranea* ที่เมื่ออยู่ในน้ำความเค็มต่ำ จะมีความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ในเลือดจะเท่ากับน้ำภายนอก และจะมีความเข้มข้นลดลงเมื่อน้ำภายนอกมีความเค็มสูงขึ้น(Lucu, 1978) หรือในกุ้ง *B. sandiegonensis* และ *S. wootoni* (Gonzalez *et al.* 1996) รวมทั้งกุ้ง *Palaemonetes pugio* (Knowlton and Kirby, 1984) ที่รักษาระดับความเข้มข้นของโซเดียมให้คงที่ เมื่อน้ำภายนอกเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วง 1-40 ส่วนในพัน และจากรายงานในปู Blue crab (*C. sapidus*) พบว่าที่ระดับน้ำความเค็มต่ำกว่า 26 ส่วนในพัน ค่าออสโมดิกและไอออนต่างๆระหว่างเลือดกับน้ำทะเลจะมีค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้น เมื่อปูมีการอพยพไปสู่ที่น้ำมีความเค็มต่ำ (Mantel, 1967; DeFur, 1990) โดยมีพฤติกรรมเช่นเดียวกันกับครัสเตเชียนที่อาศัยอยู่ในเขตน้ำกร่อยและน้ำทะเล เมื่อระดับความเค็มน้ำเพิ่มขึ้น

ที่ระดับความเค็มของน้ำต่ำ เลือดสัตว์ก็จะมีปริมาณของโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียมต่ำลงด้วย เนื่องจากมีน้ำภายนอกที่มีความเจือจางแพร่เข้าสู่ร่างกาย และแร่ธาตุต่างๆในร่างกายก็จะแพร่ออกสู่น้ำภายนอก เพื่อรักษาระดับเกลือแร่ในร่างกายให้อยู่ในระดับที่มีความสมดุล ดังนั้นสัตว์จึงต้องมีการปรับตัวให้อยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือแร่ในร่างกายสูงกว่าสิ่งแวดล้อมภายนอก จึงต้องมีการดึงพลังงานมาใช้อย่างมาก ในการรักษาระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆ โดยมีกลไกการขับน้ำออกจากร่างกาย เพราะน้ำภายนอกที่แพร่เข้าไปในร่างกายอยู่ตลอดเวลาตาม

หลักการของออสโมซิส (osmosis) ในขณะเดียวกันก็จะมีการดูดกลับเกลือแร่ไว้ภายในร่างกาย และลดการสูญเสียเกลือแร่ออกจากร่างกาย โดยการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่านให้เล็กลง และเพิ่มการเก็บสะสมปัสสาวะ พร้อมทั้งปรับแรงดันน้ำ (hydroststic pressure) ภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ (Mantel and Farmer, 1983)

ถึงแม้ว่าสัตว์จะมีกลไกต่างๆ ในการปรับสมดุลเกลือแร่ดังที่กล่าวมา แต่ภายใต้สภาวะความเค็มน้ำต่ำมากๆ ทำให้ต้องสูญเสียแร่ธาตุต่างๆ ภายในร่างกายออกสู่สิ่งแวดล้อม และต้องรับน้ำภายนอกจากการแพร่เข้ามาตลอดเวลา จึงเป็นเหตุให้มีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในเลือดต่ำกว่าที่ความเค็มน้ำที่สูง จึงทำให้สัตว์เกิดความเครียด ร่างกายอ่อนแอส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และทำให้อัตราการตายเพิ่มขึ้น ได้ดังที่พบในครัสเตเชียนหลายชนิด (Kirkpatrick and Jones, 1985; Gelin *et al.*, 2001)

แหล่งน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง

ในการเพาะเลี้ยงและอนุบาลลูกกุ้งนั้น ไม่ว่าจะเป็นการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในกลุ่ม Penaeid หรือ กุ้งในกลุ่ม Palaemonid เช่น กุ้งก้ามกราม ต่างก็มีความจำเป็นต้องใช้น้ำเค็มในการอนุบาลลูกกุ้ง ทั้งนี้เนื่องจาก ลูกกุ้งยังต้องการแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำทะเล เพื่อให้มีการลอกคราบ เจริญเติบโตเข้าสู่พัฒนาการในระยะต่อไป น้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้นโดยทั่วไปอาจจะเป็นน้ำทะเลที่มีความเค็มสูงจากการทำนาเกลือ ซึ่งในการทำนาเกลือนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็คือเกลือสมุทรหรือเกลือทะเล ซึ่งได้มาจากการระเหยออกไปของน้ำทะเลในนาเกลือ ทำให้น้ำทะเลในนาเกลือมีความเค็มสูงก่อน ที่จะเกิดการตกผลึกกลายเป็นเกลือ

แต่ในบางภูมิภาคแล้วน้ำเค็ม จะเป็นสิ่งที่หายากมาก เนื่องจากมีราคาแพง เพราะต้องขนส่งเป็นระยะทางไกล อย่างเช่น ในภาคเหนือ หรือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นการใช้เกลือสินเธาว์ ซึ่งเป็นเกลือที่มีการผลิตในท้องถิ่นนั้นๆ สำหรับเตรียมเป็นน้ำเค็ม โดยมีการชดเชยแร่ธาตุบางชนิดเพื่อใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งดูเหมือนจะเป็นทางออกที่ดี แต่การใช้เกลือสินเธาว์ก็มีปัญหาเช่นกัน เพราะต้องนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุ และคำนวณหาปริมาณแร่ธาตุ ที่พร่องไปทุกครั้ง เกลือที่มาจากแหล่งผลิตที่ต่างกัน และเกลือที่มีวิธีการผลิตไม่เหมือนกัน ก็จะมีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกันไป ส่วนเกลือเม็ดที่ได้จากการทำนาเกลือนั้น ก็มีปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญๆ บางชนิดพร่องไป เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และ แคลเซียม ทำให้เกิดปัญหาที่จะต้องวิเคราะห์และคำนวณเพื่อการชดเชยแร่ธาตุ ดังนั้นการใช้น้ำทะเลเทียม หรือน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือ

สำเร็จรูปสำหรับเตรียมน้ำทะเลเทียม ที่มีขายภายใต้ชื่อการค้าต่างๆ จึงเป็นแหล่งน้ำเค็มอีกแหล่ง ที่สามารถนำมาใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งได้ (Brown, 1991)

1. น้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือ

ในการทำนาเกลือนั้นมักทำกันในช่วงหน้าแล้ง ดังนั้นในช่วงเวลาก่อนถึงฤดูทำนาเกลือในหน้าแล้ง เช่น ในช่วงหน้าฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) จะต้องทำการระบายน้ำเข้าไปเก็บไว้ในวังขังน้ำและทิ้งไว้ เพื่อให้โคลนตมตกตะกอนออกมาก่อน เมื่อถึงฤดูทำนาเกลือ (พฤศจิกายน--พฤษภาคม) จึงใช้น้ำที่ผ่านการตกตะกอนโคลนตมแล้วนั้นในการทำนาเกลือ ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

การเตรียมพื้นที่นาให้เรียบ และแน่นจากนั้นจึงแบ่งพื้นที่นาออกเป็นแปลง แต่ละแปลงมีพื้นที่ประมาณ 1 ไร่ และยกคันดินให้สูงขึ้นเหมือนการทำนาข้าว และทำร่องระบายน้ำระหว่างแปลง พื้นที่นาที่แบ่งเป็นแปลงแล้วนี้ เรียกว่า "แปลงนา" ซึ่งจำแนกตามกระบวนการผลิตเกลือได้ดังนี้ คือ "นาตาก" "นาเชื้อ" และ "นาปลง"

กระบวนการทำนาเกลือขั้นตอนแรกเป็นการระบายน้ำทะเลจากวังขังน้ำที่ทำการตกตะกอนโคลนตมแล้วเข้าสู่ "นาตาก" เพื่อให้น้ำทะเลมีการระเหยไปโดยความร้อนจากแสงอาทิตย์ และกระแสลม เมื่อน้ำทะเลระเหยไปจนกระทั่งมีระดับน้ำสูงกว่าพื้นที่นา ประมาณ 5 เซนติเมตร (ความถ่วงจำเพาะ 1.08) จึงทำการระบายน้ำทะเลที่ตากไว้แล้วนี้ไปสู่แปลงนาถัดไป ที่เรียกว่า "นาเชื้อ"

เมื่อระบายน้ำจาก "นาตาก" เข้าสู่ "นาเชื้อ" แล้ว ชาวนาเกลือจะปล่อยให้น้ำระเหยออกไปอีกทำให้ $CaCO_3$ ตกผลึกออกมาเป็นอันดับแรก และ $CaSO_4.2H_2O$ ตกผลึกออกมาเป็นอันดับที่สอง เมื่อน้ำในนาเชื้อจะระเหยต่อไป จนได้ความถ่วงจำเพาะ 1.20 จึงระบายน้ำเข้าสู่แปลงนาถัดไป ที่เรียกว่า "นาปลง" (กระบวนการตกผลึกที่เกิดขึ้น ในนาเชื้อนี้ยังไม่มีการตกผลึกของ NaCl)

เมื่อระบายน้ำเข้าสู่ "นาปลง" NaCl จะเริ่มตกผลึกออกมา และจะมีการตกผลึกมากขึ้นๆ ในขั้นตอนนี้ชาวนาเกลือ จะใช้เครื่องมือที่ทำด้วยไม้ ที่เรียกว่า "คฑา" ซอยผลึกเกลือให้แตกออกจากกันเป็นเม็ด และไสหรือลากเม็ดเกลือให้รวมเป็นกอง ซึ่งเรียกตามศัพท์ของชาวนาเกลือว่า "ทำกะต่อม" เมื่อรวบรวมเกลือเม็ดเป็นกะต่อมแล้ว จึงระบายน้ำเกลือที่เหลือออกจากนาเกลือจนหมด และทิ้งเกลือตากแดดไว้อีก 2-3 วัน น้ำทะเลระบายทิ้งไปนี้ ชาวนาเกลือ เรียกว่า "น้ำขม" ซึ่งจะมีความเข้มข้นของอิออน Mg^{2+} K^+ Cl^- และSO_4^{2-}สูงมาก ซึ่งถ้าหากนำไปตกผลึกจะได้เกลือ $MgSO_4.7H_2O$ $MgCl_2.6H_2O$ และ KCl ดังนั้นจึงต้องระบายน้ำจาก "นาปลง" ออกไป เพื่อป้องกันไม่ให้ $MgCl_2$ และ $MgSO_4$ ตกผลึกปนกับ NaCl ซึ่งเป็นเหตุให้เกลือที่ผลิตได้มีรสขม และมีความชื้นสูงทำให้มีคุณภาพต่ำ (ประดิษฐ์, 2540)

การตกผลึกของเกลือชนิดต่างๆ นั้น ได้มีผู้ทำการทดลองนำน้ำทะเลในปริมาณ 1 ลิตร มาทำการตากแดดปล่อยให้น้ำมีการระเหยออกไป และรายงานลำดับการตกตะกอนของเกลือชนิดต่างๆ โดยที่ $CaCO_3$ จะตกผลึกเป็นลำดับแรก จากนั้น $CaSO_4 .2H_2O$ จึงตกผลึก หลังจากนั้น NaCl $MgCl_2.6H_2O$ $MgSO_4.7H_2O$ และ NaBr จึงตกผลึกออกมาตามลำดับ ส่วนเกลือ KCl นั้นจะอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งหากจะเกิดการตกผลึกได้ก็ต้องปล่อยให้น้ำระเหยไปจนหมด

ดังนั้นเกลือสมุทรที่มีขายทั่วไปนั้นจึงขาดแร่ธาตุ แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุหลัก ที่พบได้ในน้ำทะเล โดยทั่วไปที่มีความเค็มอยู่ในช่วง 32-38 ส่วนในพัน เฉลี่ยประมาณ 35 ส่วนในพัน และมีคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การมีสัดส่วนของธาตุปริมาณมาก ต่อความเค็มคงที่เสมอ ยกเว้นในบางบริเวณที่มีการระเหยมากผิดปกติ เช่น บริเวณทะเลแดง หรือบริเวณที่มีน้ำจืดไหลลงสู่ทะเลในปริมาณมาก โดยที่ธาตุปริมาณมาก หรือที่เรียกว่า major constituent หรือ conservative constituent ประกอบไปด้วย ออกซิเจน ไฮโดรเจน คลอรีน โซเดียม แมกนีเซียม กำมะถัน แคลเซียม โพแทสเซียม โบรมีน คาร์บอน สตรอนเทียม โบรอน ซิลิคอน และ ฟลูออรีน ซึ่งปริมาณธาตุดังกล่าวข้างต้นนี้ จะมีอัตราส่วนต่อความเค็มคงที่เสมอ (มนูวดี, 2532; Garrison, 2006; Millero, 2006) ดังนั้นองค์ประกอบโดยปกติทั่วไปของน้ำทะเลจึงไม่แตกต่างกัน

2. น้ำเค็มจากเกลือสินเธาว์ หรือเกลือหิน

การผลิดเกลือสินเธาว์นั้น มีแหล่งที่มาจากการผลิต 3 แหล่ง คือ เกลือสินเธาว์ ที่ผลิดจากคราบเกลือจากผิวดิน เกลือสินเธาว์ ที่ผลิตจากน้ำเกลือบาดาล และเกลือสินเธาว์ ที่ผลิตจากเกลือหิน ในการเกิดเกลือสินเธาว์นั้น ประเสริฐ (2534) ได้ให้ข้อสันนิษฐานไว้ว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนตัวของผืนจุลทวีป 2 แผ่น คือ จุลทวีปฉานไทย และผืนจุลทวีปอินโดจีน ซึ่งเคลื่อนที่มาประกบกันตามทฤษฎีทวีปเลื่อนลอย (continental drift) โดยในขณะที่ผืนจุลทวีปทั้งสองเคลื่อนที่มาใกล้กันนั้น ทำให้น้ำทะเลเอ่อเข้าไปท่วมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แล้วเกิดภาวะการแห้งแล้งจนเกิดการตกตะกอนของเกลือ จากนั้นอากาศ ซึ่งมีความชุ่มชื้นน้ำอยู่จะนำตะกอนดินเหนียวมาปิดทับชั้นเกลือ เมื่อความชุ่มชื้นมีมากขึ้นน้ำทะเลก็เอ่อล้นเข้ามาอีกเป็น รอบที่ 2 ต่อมาเกิดความแห้งแล้งอีกจนเกิดการตกตะกอนเกลือเป็นชั้นที่ 2 และเกิดความชุ่มชื้นน้ำนำเอาตะกอนดินเหนียวมาปิดทับอีก หลังจากนั้นน้ำทะเลจึงเอ่อล้นเข้ามาเป็น ครั้งที่ 3 ต่อจากนั้นผืนจุลทวีปทั้ง 2 ผืนจึงเข้าประกบกัน ซึ่งแรงของการประกบ ทำให้เกิดการยกตัวของภูเขา ที่เป็นขอบของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พร้อมกับการยกตัวของเทือกเขาภูพาน ทำให้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือแบ่งออกเป็น 2 แอ่ง คือ แอ่งสกลนคร ซึ่งอยู่ทางตอนบน และ แอ่งโคราช ซึ่งอยู่ทางตอนล่าง ส่วนการเกิดเกลือในภาคเหนือนั้น ก็มีกระบวนการเกิดที่คล้ายคลึงกัน เกลือสินเธาว์จากแหล่งทั้ง 3 นี้ มีกระบวนการผลิต ดังนี้

2.1 เกลือสินเธาว์ที่ผลิตจากคราบเกลือจากผิวดิน

การผลิตเกลือสินเธาว์โดยวิธีนี้ เป็นการผลิตโดยการขุดคราบเกลือจากผิวดิน นำมาละลายน้ำ และทำการกรองเศษดินและกากตะกอนออก จากนั้นจึงนำน้ำเกลือที่ได้จากการกรองไปเคี่ยวให้แห้งจะได้ผลึกเกลือ

2.2 เกลือสินเธาว์ที่ผลิตจากน้ำเกลือบาดาล

น้ำเกลือบาดาลนั้น จะอยู่ลึกจากพื้นดินหลายระดับ อาจจะเป็น 5-10 เมตร หรือในบางแห่งอาจลึกถึง 30 เมตรได้ ในการผลิตนั้นทำได้โดยการขุดเจาะลงไปถึงระดับน้ำเกลือบาดาล และสูบน้ำเกลือขึ้นมานำไปต้ม หรือตากจะได้เกลือตกผลึกออกมา

2.3 เกลือสินเธาว์ที่ผลิตจากเกลือหิน

การผลิตเกลือสินเธาว์ จากเกลือหิน มีกระบวนการผลิตที่มีลำดับขั้นตอนการผลิต ดังนี้ โดยเริ่มจากการอัดน้ำจืดลงไปละลายเกลือในชั้นหินเกลือ เมื่อได้สารละลายเกลือแล้ว จึงนำสารละลายเกลือนั้นมาเติม NaOH และ Na_2CO_3 เพื่อกำจัดอิออน Mg^{2+} และ Ca^{2+} ดังสมการ

$$Mg^{2+} + 2OH^{-} \longrightarrow Mg(OH)_2 \quad (1)$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \longrightarrow CaCO_3 \quad (2)$$

ทำการกรองเพื่อแยกส่วน $Mg(OH)_2$ และ $CaCO_3$ ซึ่งตกผลึกจากการเติม NaOH และ Na_2CO_3 ออกไป จากนั้นนำส่วนที่เป็นสารละลายเกลือไปตกผลึกจะได้ NaCl เมื่อตกผลึกไปนานๆปริมาณ NaCl ในสารละลายจะลดลง แต่ในสารละลายก็ยังคงมี $NaSO_4$ และ Na_2CO_3 ละลายอยู่ ซึ่งเรียกสารละลายนี้ว่า "น้ำขม" จากนั้นจึงนำน้ำขมมาทำการกำจัดไอออนต่างๆ ออก โดยการเติม $CaCl_2$ จะเกิด $CaCO_3$ และ $CaSO_4$ ดังสมการ

$$Ca^{2+} + SO_4^{2-} \longrightarrow CaSO_4 \quad (3)$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \longrightarrow CaCO_3 \quad (4)$$

จากนั้นจึงกรองแยกตะกอนออกไป และนำสารละลายที่ได้ไปตกผลึก NaCl ได้อีก จึงทำให้เกลือที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงมาก และมีความชื้นต่ำ แต่ก็ทำให้มีปริมาณแร่ธาตุ แมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียมต่ำ โดยเฉพาะแร่ธาตุโพแทสเซียมนั้นมักจะอยู่ในที่ลึกๆ ซึ่งในที่มีความลึกมากๆ นี้ จะมีสารประกอบคาร์นัลไลท์ (carnallite) หรือ ซิลไวท์(sylvite) ซึ่งมีธาตุโพแทสเซียมที่เป็นปุ๋ยสำคัญ และเป็นที่รู้จักกันในชื่อ "โพแทส" (potash) ซึ่งในการขุดเพื่อทำเหมืองเกลือนั้น ถ้าหากทำการขุดโดยที่ไม่มีความลึกเพียงพอแล้วก็จะทำให้ได้เกลือที่มี โพแทสเซียมต่ำ

3. น้ำทะเลเทียม หรือน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปในทางการค้า

การใช้น้ำทะเลเทียม ในการอนุบาลลูกกุ้งก็เป็นแหล่งน้ำเค็ม ที่สามารถจัดเตรียมได้เอง ไม่ต้องขนส่งน้ำทะเล หรือน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือมา เพื่อใช้ในการเพาะและอนุบาลลูกกุ้ง ทำให้ต้นทุนในผลิตกุ้งลดลง และเป็นวิธีการป้องกันโรคระบาดได้ดี น้ำทะเลเทียมที่ใช้กันนั้นมีสูตรแตกต่างกันไปตาม ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำทะเลเทียมในสูตรต่างๆ

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี ในน้ำทะเลเทียมสูตรที่ (กรัม/100ลิตร)					
	1	2	3	4	5	6
NaCl	2,770	2,816	2,048	2,392.6	2,347.7	2,765
$MgCl_2.6H_2O$	380	550	928	1,083	498.1	551
$CaCl_2.6H_2O$	-	122	98.5	152	110.2	-
KCl	-	65	58.5	67.7	64.4	65
$NaHCO_3$	-	25	35.75	19.6	19.2	25
$SrCl_2$	-	-	0.43	2.4	2.4	1.5
$NaSO_4.2H_2O$	-	-	776.25	400.8	391.7	-
H_3BO_3	-	-	0.23	2.6	2.6	-
$NaSIO_4.9H_2O$	-	-	-	3.0	-	-
NaF	-	0.01	0.3	-	-	-
$MgSO_4.7H_2O$	160	692	-	-	-	692
$CaSO_4$	130	-	-	-	-	160
$CaCO_3$	10	-	-	-	-	-
K_2SO_4	90	-	-	-	-	-
KI	-	0.1	-	-	-	0.5
$MgBr_2$	0.1	-	-	-	-	-
NaBr	-	0.1	8.47	-	-	10.-
KBr	● -	-	-	9.6	9.6	

ที่มา: สมยศ, 2543

น้ำทะเลเทียมสูตรต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น น้ำทะเลสูตรที่ 1 นี้ เป็นสูตรของ University of Illinois ซึ่งใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังเพียงอย่างเดียว น้ำทะเลสูตรที่ 2 ซึ่งเป็นสูตรของ Heinroth ซึ่งใช้ใน Berlin Aquarium น้ำทะเลสูตรที่ 3 เป็นสูตรของ Dietrich and Kalle ซึ่งใช้ในการทดลองเลี้ยงแพลงตอนสัตว์ สูตรที่ 4 นั้น เป็นสูตร Kester ใช้ในการเลี้ยง Marine Copepod ส่วนสูตรที่ 5 นั้นเป็นสูตรของ Plymouth Laboratoties ซึ่งใช้ในการเลี้ยงปลาทะเลทั่วไป และน้ำทะเลเทียม สูตรที่ 6 เป็นสูตรของ Wiedemann and Kramer ซึ่ง Huckstedt ได้ดัดแปลง (สมยศ, 2543)

การเตรียมน้ำทะเลเทียมตามสูตรในตารางที่ 12 นั้น จะเห็นได้ว่ามีความยุ่งยากในการเตรียม ดังนั้น จึงมีการผลิตเกลือผงสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียม ที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปภายใต้ชื่อการค้าต่างๆ เนื่องจากเตรียมได้ง่าย และมีวิธีการในการเตรียมไม่ซับซ้อน สามารถนำมาละลายน้ำแล้วนำไปใช้ได้ทันที ผงเกลือสำเร็จรูป สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่มีการผลิต และจำหน่าย ในประเทศไทยนั้น พบว่า มีจำหน่ายโดยทั่วไป ภายใต้ชื่อการค้าต่างๆ กัน เช่น Aqua Marine Aqua Raise Deep Blue Sea "Marinium และ Thai Coral" ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะระบุวิธีใช้ และปริมาณแร่ธาตุในน้ำไว้ข้างหลังซอง เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ และการขนส่ง

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมหน่วยทดลอง

1. ถังพลาสติกกลมขนาด 200 ลิตร จำนวน 6 บ่อ ใช้สำหรับการผสมและเก็บพักน้ำเค็ม

2. บ่อซีเมนต์กลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร จำนวน 6 บ่อ สำหรับการทดลองอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

3. ถังน้ำพลาสติกสีดำที่ทีฝาปิด ขนาดความจุน้ำ 50 ลิตร จำนวน 6 ถัง สำหรับทำชุดกรองน้ำและบำบัดน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง พร้อมทั้งติดตั้งระบบกรองน้ำ และระบบบำบัดน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย ไบโอบอล หินภูเขาไฟ ใยแก้ว และหัวทราย

4. กระชังผ้าไหมแก้ว ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งสำหรับการทดลอง

การเตรียมน้ำเค็มสำหรับการทดลอง

1. น้ำทะเลเทียม

น้ำทะเลเทียมในการทดลองนี้ เป็นน้ำทะเลเทียมซึ่งเตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูป โดยใช้ผงเกลือ 3 กิโลกรัม ละลายในน้ำประปา 200 ลิตรที่ได้ทำการพัก และให้อากาศไว้แล้ว 7 วัน ทำการปรับค่าความเค็มให้ได้ 15 ส่วนในพัน

2. น้ำนาเกลือ

การเตรียมน้ำทะเลจากนาเกลือ โดยการนำน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือใน อำเภอ บางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีความเค็ม 100 ส่วนในพัน มากรองด้วยถุงกรอง จากนั้นจึงนำไปเจือจางให้มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ด้วยน้ำประปาที่ได้ทำการพักไว้แล้ว และให้อากาศตลอดเวลา 7 วัน โดยให้มีปริมาตรประมาณ 200 ลิตร

3. น้ำเกลือสินเธาว์

เตรียมโดยใช้เกลือสินเธาว์จาก อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน 3 กิโลกรัม ละลายในน้ำประปาให้ได้ปริมาตร 200 ลิตร ที่ได้ทำการพักและให้อากาศไว้แล้ว 7 วัน จากนั้น จึงกรองด้วยถุงกรอง เพื่อให้น้ำเค็มที่ได้มีความใส และทำการปรับค่าความเค็มให้ได้ 15 ส่วนในพัน

การเตรียมสัตว์ทดลอง

- แม่กุ้งก้ามกรามมีไข่แก่ติดหน้าท้องในระยะ heart beating จากฟาร์มเอกชน นำมาใส่ถังไฟเบอร์ขนาดความจุน้ำ 100 ลิตร ที่มีน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือผงสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียม ซึ่งมีความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การเตรียมอาหารสำหรับการทดลอง

- ตัวอ่อนอาร์ทีเมียที่ได้จากการฟัก

วิธีการทดลอง

1.วางแผนการทดลอง

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือ CRD (Complete Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยไม่มีการเสริมแร่ธาตุใดๆตลอดการทดลอง (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุแคลเซียมทุกๆ 5 วัน

ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุแมกนีเซียมทุกๆ 5 วัน

ชุดการทดลองที่ 4 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุรวมทุกๆ 5 วัน

ชุดการทดลองที่ 5 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในเค็มที่เตรียมจากเกลือสินเธาว์ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุรวมทุกๆ 5 วัน

ชุดการทดลองที่ 6 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่เตรียมจากน้ำทะเลเข้มข้นที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุรวมทุกๆ 5 วัน

2. สัตว์ทดลอง

นำแม่กุ้งที่มีไข่แก่ติดท้องมาทำการวางไข่ในน้ำเค็มที่เตรียมจาก ผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยใช้ตาข่ายพรางแสง 70% เมื่อแม่กุ้งทำการวางไข่หมดแล้ว ทำการสุ่มนับความหนาแน่นของตัวอ่อนลูกกุ้งก้ามกราม เพื่อแยกลงเลี้ยงในกระชังผ้าไหมแก้วที่มีขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะ heart beating มาทำการฟักไข่ เมื่อลูกกุ้งฟักออกจากไข่แล้วจึงทำการอนุบาลลูกกุ้งในตู้ทดลองที่มีน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน

3.2 ทำการชดเชยแร่ธาตุ ซึ่งประกอบไปด้วย แร่ธาตุแคลเซียม แร่ธาตุแมกนีเซียม และแร่ธาตุรวม เมื่อเวลาผ่านไป 15 วันหรือเมื่อลูกกุ้งมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 6-7 ลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล
ลูกกุ้ง

3.3 ตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งทุกๆ 2 วัน

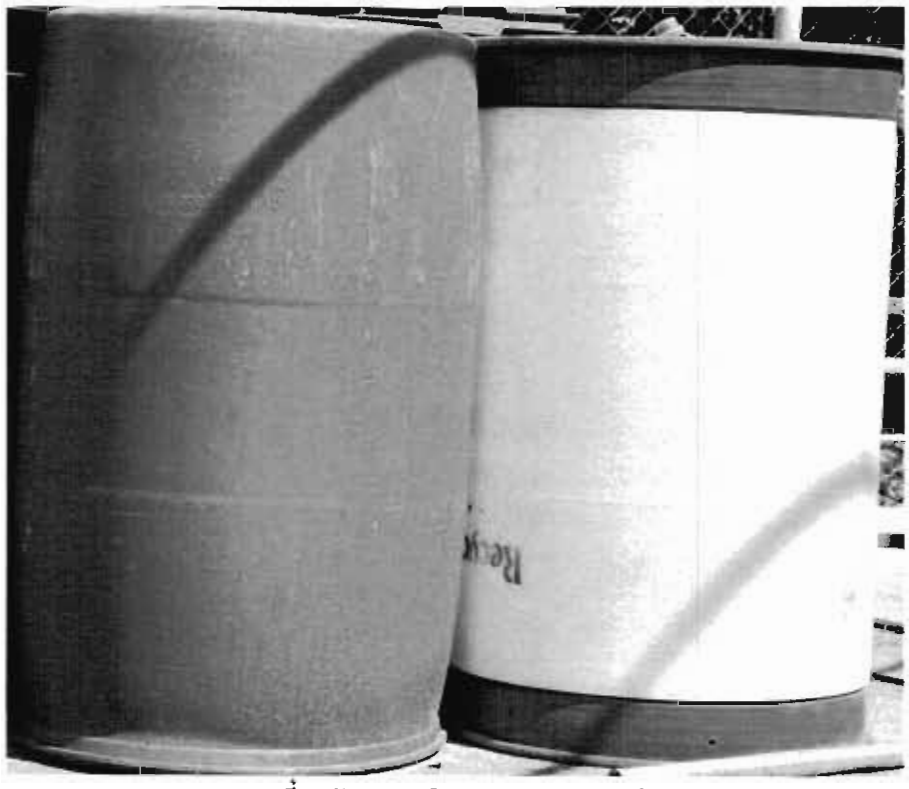
3.4 ให้อาหารวันละ 3 มื้อ คือเวลา 09.00 น, เวลา 12.00 น. และเวลา 15.00 น.

3.5 ให้อากาศตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.6 ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 29-30 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ให้ความร้อน

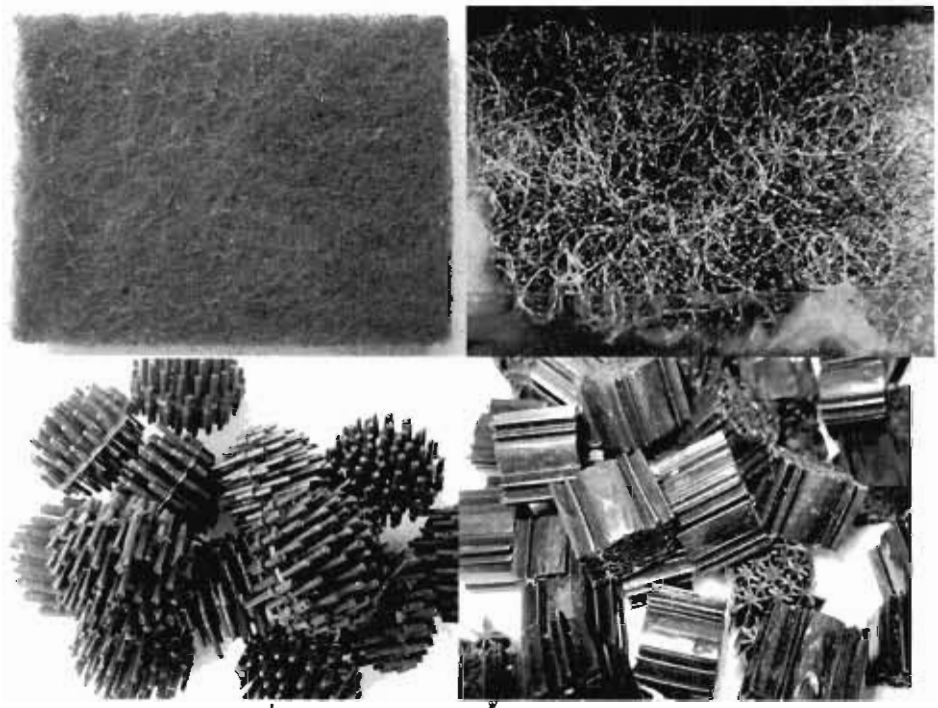
3.7 วิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง

3.8 ทำการนับจำนวนลูกกุ้งทั้งหมด เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการรอดตายเฉลี่ย และวิเคราะห์หาความแปรปรวน(ANOVA) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

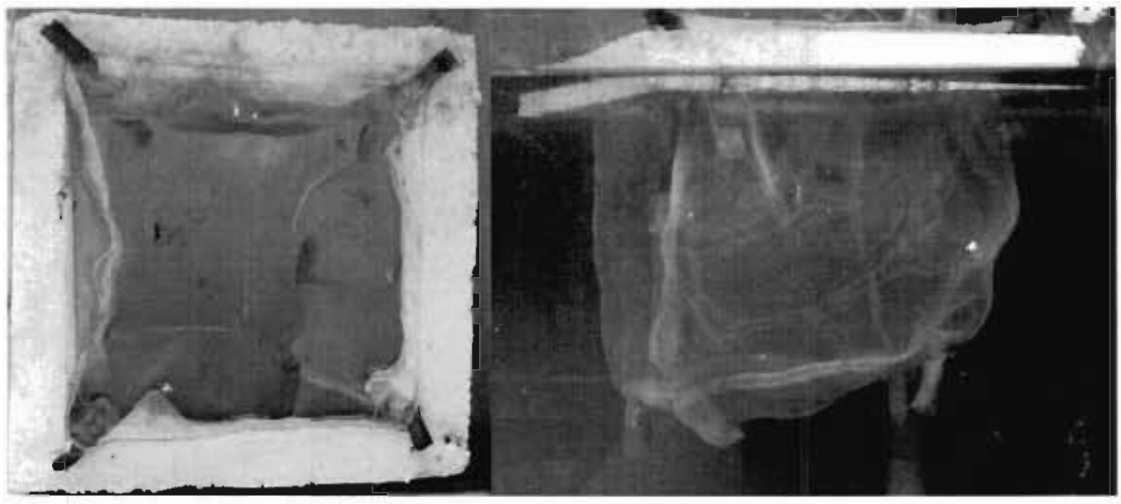


ภาพที่ 4 ถังพลาสติกกลมขนาด 200 ลิตร

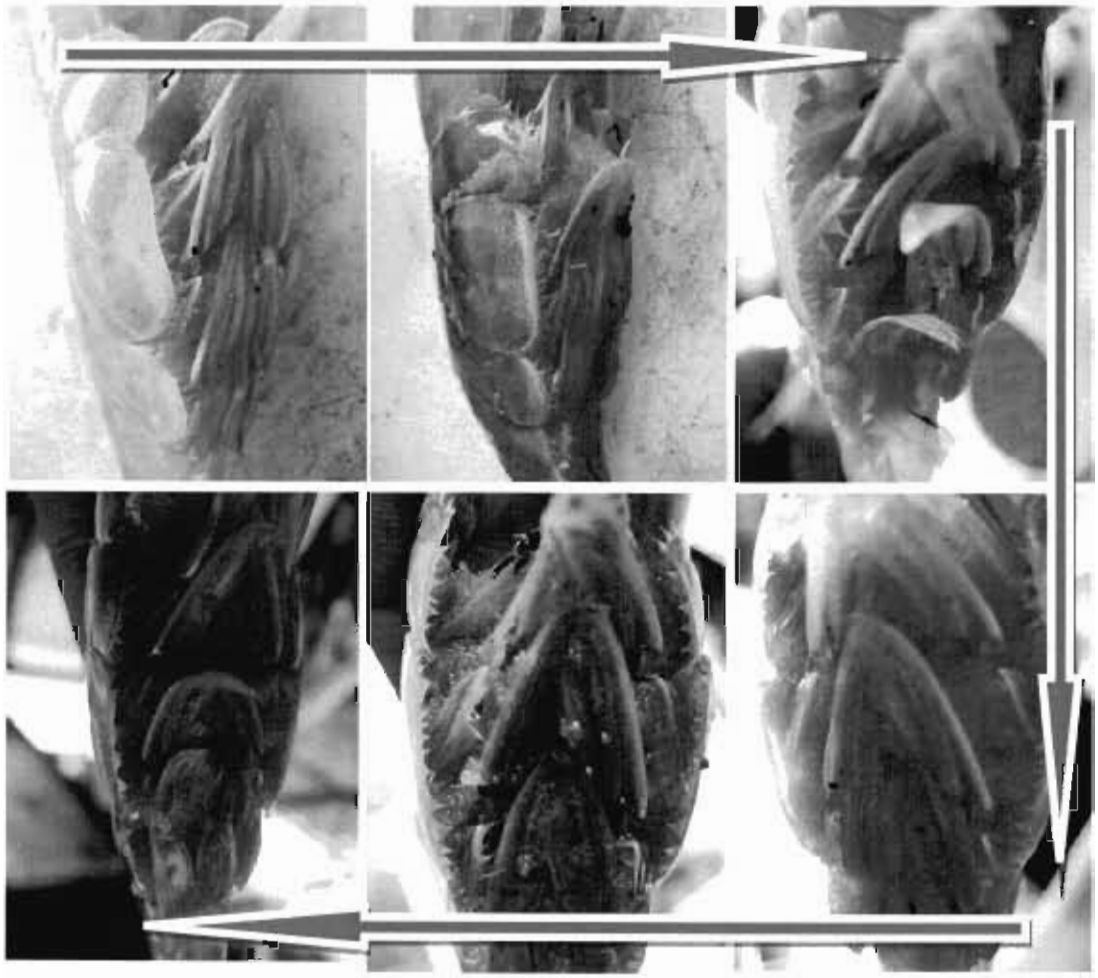
ภาพที่ 5 บ่อซีเมนต์กลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตรพร้อมทั้งติดตั้งระบบบำบัดน้ำ



ภาพที่ 6 ใยกรองและไบโอบอลที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำ



ภาพที่ 7 กระชังผ้าไหมแก้วที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง

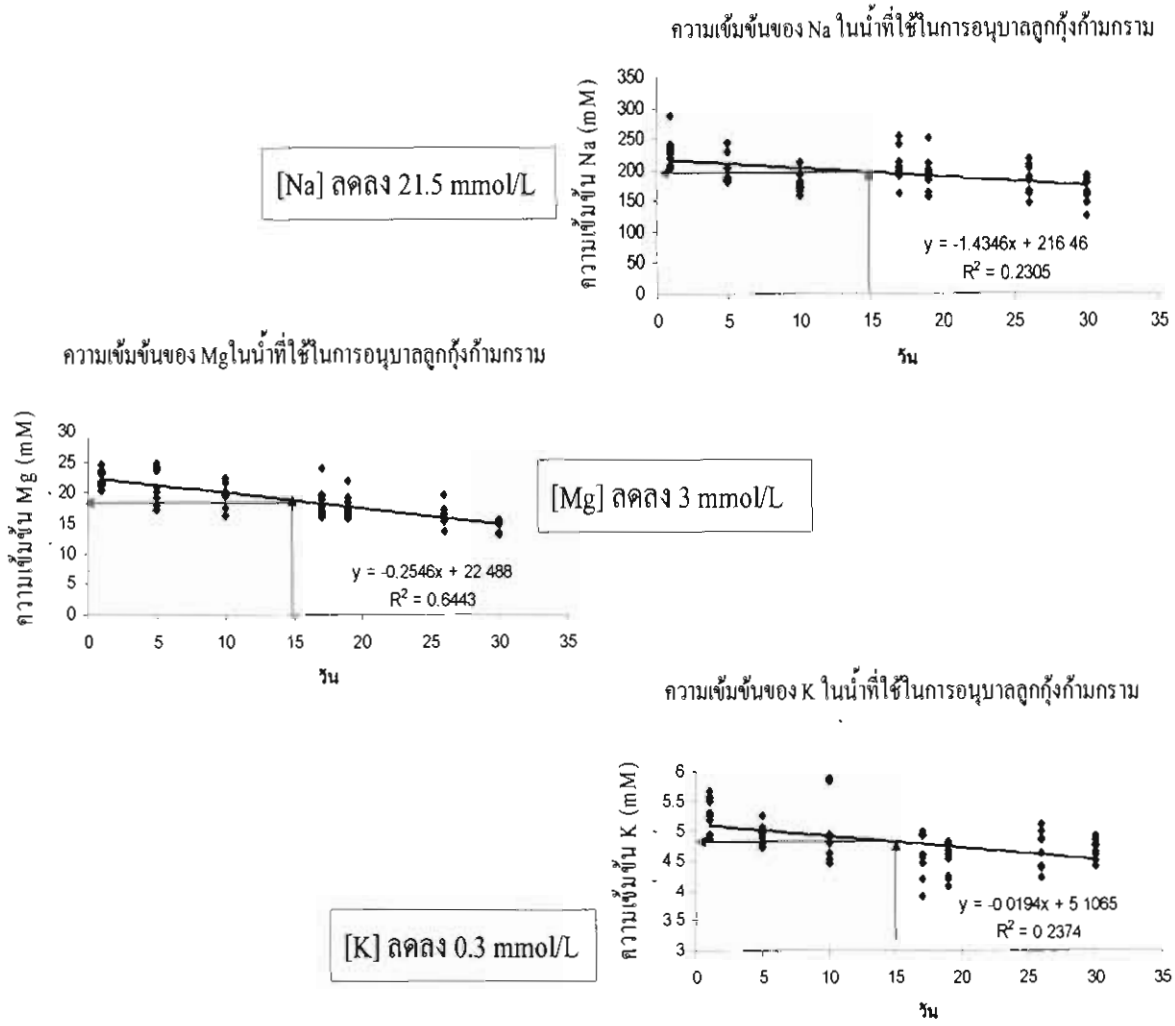


ภาพที่ 8 แม่กุ้งก้ามกรามที่มีไข่ ระยะต่างๆ

ภาพที่ 9 ตัวอ่อนอาร์ทีเมียที่ใช้เป็นอาหารในการอนุบาลลูกกุ้งและไข่อาร์ทีเมียบรรจุกระป๋อง

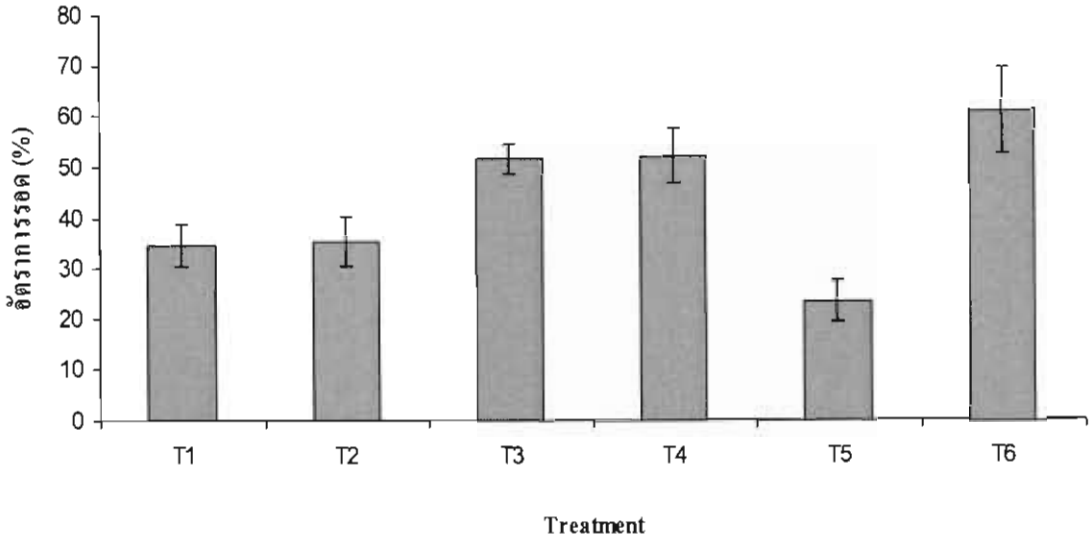
ผลการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการนำเอาผลการทดลองจากการทดลองของช่วงที่ 1 มาประยุกต์ใช้ในช่วงที่ 2 เพื่อศึกษาต่อในการอนุบาลเชิงพานิชย์ ในพื้นที่ที่มีความห่างไกลจากแหล่งน้ำเค็ม การทดลองนี้ แบ่งเป็น 6 ชุดการทดลอง โดยการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยไม่มีการเสริมแร่ธาตุใดๆตลอดการทดลองเป็นชุดควบคุม การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุแคลเซียมทุกๆ 5 วัน เป็นชุดการทดลองที่ 2 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุแมกนีเซียมทุกๆ 5 วัน เป็นชุดการทดลองที่ 3 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุรวมทุกๆ 5 วัน เป็นชุดการทดลองที่ 4 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในเค็มที่เตรียมจากเกลือสินเธาว์ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุรวมทุกๆ 5 วัน เป็นชุดการทดลองที่ 5 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่เตรียมจากน้ำทะเลเข้มข้นที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุรวมทุกๆ 5 วัน เป็นชุดการทดลองที่ 6

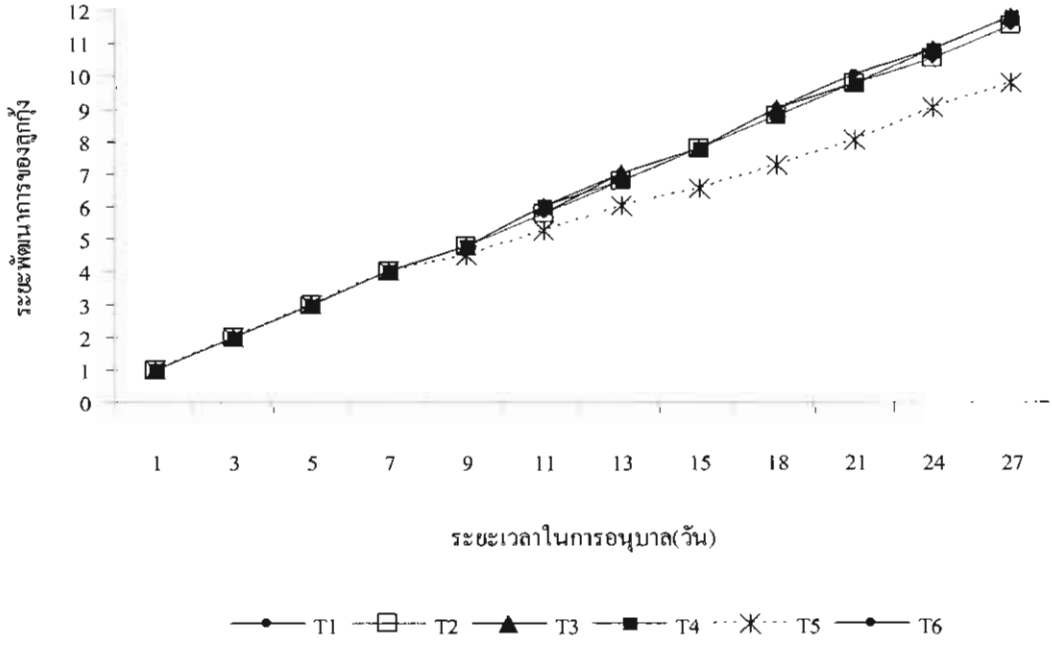


ภาพที่ 10 ปริมาณโซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่ลดลงในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน

จากการทดลองพบว่าลูกกุ้งที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มที่เตรียมจากน้ำทะเลเข้มข้นที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุรวมทุกๆ 5 วัน มีอัตราการรอดสูงกว่าลูกกุ้งที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มชนิดอื่นๆ ($P<0.05$) โดยมีอัตราการรอดของทั้ง 6 ชุดการทดลอง คิดเป็นร้อยละ $34.67 \pm 4.16\%$, $35.33 \pm 5.03\%$, $51.33 \pm 3.05\%$, $52.00 \pm 5.29\%$, $23.33 \pm 4.16\%$ และ $60.67 \pm 8.33\%$ ตามลำดับ (ภาพที่ 2) แต่มีพัฒนาการของลูกกุ้งไม่แตกต่างกันโดยที่มีระยะเวลาในการพัฒนาจนถึงระยะดว่ำเป็นเวลา 35 วัน และมีพัฒนาการในระยะดว่ำทุกตัวเป็นเวลา 36 วันเหมือนกัน (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 11 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มชนิดต่างๆ ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันในบ่อทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่มีการเสริมแคลเซียมแมกนีเซียม และแร่ธาตุรวม



ภาพที่ 12 ระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มชนิดต่างๆ ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันในบ่อที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่มีการเสริมแคลเซียมแมกนีเซียม และแร่ธาตุรวม

จากผลการทดลองก่อนหน้านี้พบว่าลูกกุ้งเริ่มมีอัตราการตายในวันที่ 19 ของการอนุบาล ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ จึงกำหมดให้มีการชดเชยแร่ธาตุ แคลเซียม แมกนีเซียม และแร่ธาตุรวมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล โดยให้ชดเชยก่อนวันที่ 19 ในการอนุบาล ซึ่งในการทดลองได้กำหนดเอาวันที่ 15 ของการอนุบาล การทดลองนี้ไม่ได้ทำการชดเชยแร่ธาตุโซเดียมเนื่องจากยังมีอยู่ในปริมาณมากถึงแม้จะมีการลดลงก็ตาม ซึ่งผลการทดลองก็ได้ปรากฏว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพันที่มีระบบไหลเวียนแบบวงจรปิดนั้น ลูกกุ้งในชุดการทดลองที่อนุบาลในน้ำเค็มที่เตรียมจากน้ำทะเลเข้มข้นที่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุรวม ลูกกุ้งในชุดการทดลองที่อนุบาลในน้ำเค็มที่เตรียมที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุรวม และลูกกุ้งในชุดการทดลองในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุแมกนีเซียม พบว่ามีอัตราการรอดตายที่ไม่แตกต่างกัน(P>0.05) และลูกกุ้งในชุดการทดลองในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ไม่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุใดๆ กับลูกกุ้งในชุดการทดลองในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุแคลเซียม พบว่ามีอัตราการรอดตายที่ไม่แตกต่างกัน(P>0.05) ส่วนลูกกุ้งในชุดการทดลองในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสินเธาว์ที่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุรวม พบว่ามีอัตราการรอดตายต่ำกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P>0.05) ดังนั้นเหตุการณ์นี้เป็นการสรุปได้ว่า ลูกกุ้งต้องการแร่ธาตุจากน้ำที่ใช้ในการอนุบาล เนื่องจากต้องใช้แร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด เช่น โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ คลอไรด์ ไปเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (จักรตุพร, 2536 ; ชลอ และคณะ, 2547 ; บุญรัตน์ และคณะ, 2547 ; Prtoomchat, *et. al.*,2002) ซึ่งในแร่ธาตุที่ลูกกุ้งต้องการมากที่สุดคือแมกนีเซียม เนื่องจากเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกและเนื้อเยื่อ (บุญรัตน์ และคณะ, 2547) ในการทดลองครั้งนี้พบว่าอัตราการรอดของลูกกุ้งไม่ได้ต่ำจนเกินไปหากนำเปรียบเทียบกับการทดลองอื่นๆ

การเสริมแร่ธาตุ	อัตราการรอด (ร้อยละ)
ไม่เสริมแร่ธาตุ(ชุดควบคุม)	34.67 ± 4.16%
เกลือสังเคราะห์+แร่ธาตุแคลเซียม	35.33 ± 5.03%
เกลือสังเคราะห์+แร่ธาตุแมกนีเซียม	51.33 ± 3.05%
เกลือสังเคราะห์+แร่ธาตุรวม	52.00 ± 5.29%
เกลือสินเธาว์+แร่ธาตุรวม	23.33 ± 4.16%
น้ำทะเลเข้มข้น+แร่ธาตุรวม	60.67 ± 8.33%

ตารางที่ 4 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มที่มีการเสริมแร่ธาตุ

วิจารณ์ผลการวิจัย

น้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นน้ำทะเลเทียมที่ผลิตออกมาภายใต้ชื่อการค้า "Marinium" ซึ่งในท้องตลาดนั้นมีเกลือผงสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ผลิตภายในประเทศภายใต้ชื่อการค้าอื่นๆ อีกหลายชื่อ เช่น "Deep Bule Sea", "Thai Coral", "Aqua Raise" และ "Aqua Marine" แต่มีเพียง "Marinium" และ "Deep Bule Sea" เท่านั้นที่ระบุปริมาณแร่ธาตุของน้ำทะเลเทียมที่เตรียมได้ไว้ข้างซอง จึงเลือกเอาเพียง 1 ชื่อการค้าคือ "Marinium" ซึ่งเมื่อนำมาละลายด้วยน้ำประปาแล้วพบว่ามีองค์ประกอบใกล้เคียงกันกับในน้ำทะเลธรรมชาติที่ความเค็มเดียวกันมาก อีกทั้งยังเป็นการใช้สินค้าที่ผลิตภายในประเทศ ดังนั้นน้ำทะเลเทียมจึงน่าจะเป็นแหล่งน้ำที่เหมาะสมในการทดลองนี้ อีกทั้งต้นทุนค่าขนส่งน้ำเกลือจากนาเกลือที่มีราคาสูงมาก ถึง 15,000(ราคาในปี พ.ศ.2547) และ 30,000 บาทในปัจจุบัน ซึ่งราคานี้เป็นราคาต่อการขนส่งน้ำเค็มจากนาเกลือ 1คันรถที่สามารถบรรทุกน้ำได้ 15 ลูกบาศก์เมตร/รถ อีกทั้งค่าสึกหรอในการขนส่งในระยะทางไกลจะมีราคาสูงมาก จากปัจจัยที่กล่าวมานั้นทำให้น้ำทะเลเทียมเป็นแหล่งน้ำเค็มที่เหมาะสมในการทดลองนี้

อัตราการรอดตายของลูกกุ้งที่สูงขึ้นดังนั้นจึงน่าจะสรุปได้ว่าลูกกุ้งต้องการแร่ธาตุจากน้ำที่ใช้ในการอนุบาล เนื่องจากต้องใช้แร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด เช่น โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ คลอไรด์ไปเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (จักรตุพร, 2536 ; ชลอ และคณะ, 2547 ; บุญรัตน์, 2547 ; Prtoomchat, *et., al.*, 2002 a,b) โดยเฉพาะในส่วนของปริมาณแมกนีเซียม และโพแทสเซียม ที่ลูกกุ้งต้องการนั้นส่วนใหญ่ได้รับมาจากในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลนั่นเอง การทดลองนี้เป็นการยืนยันว่าหากทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดต้องมีการชดเชยแร่ธาตุรวมลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลโดยจะทำให้มีอัตราการรอดตายสูงขึ้น

จากผลการทดลองที่ได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มระบบปิดในการทดลองพบว่ามีอัตราการรอดตายร้อยละ 60.67 ซึ่งเป็นอัตราการรอดตายที่อยู่ในระดับสูง แต่สามารถประหยัดการใช้น้ำเค็มในการอนุบาลได้ถึง 6 เท่า โดยที่ทั้งการทดลองจะใช้น้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันในการอนุบาลลูกกุ้งเพียง 200 ลิตร(เท่ากับความจุของบ่อทดลอง) เมื่อเทียบกับระบบเปิดที่ต้องใช้น้ำเค็มในการอนุบาลลูกกุ้งถึง 1,200 ลิตร โดยประมาณ

สรุปผลการวิจัย

1. ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยใช้น้ำเค็มในระบบไหลเวียนแบบปิดนั้นน้ำเค็มที่เตรียมมาจากผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุสามารถใช้แทนน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือที่นำมาเจือจางเพื่อใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามได้ โดยมีอัตราการรอดตายของลูกกุ้งร้อยละ 52.00 ส่วนน้ำเค็มที่เตรียมมาจากเกลือสินเธาว์ที่ทำการชดเชยแร่ธาตุแล้วนั้นไม่เหมาะในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม และระบบการไหลเวียนของน้ำแบบปิดสามารถใช้ในการผลิตลูกกุ้งก้ามกรามได้

2. ในการอนุบาลลูกกุ้งในระยะที่ 1 จนถึงระยะคว่ำนั้น แมกนีเซียม เป็นแร่ธาตุที่ลูกกุ้งใช้มากที่สุดโดยที่แมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลดลง 7.64 mmol/L หรือร้อยละ 33.9 ของปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในน้ำ รองลงมาคือ โซเดียมซึ่งมีการลดลง 43.04 mmol/L หรือร้อยละ 19.9 ของปริมาณโซเดียมในน้ำ และ โพแทสเซียมซึ่งมีการลดลง 0.59 mmol/L หรือร้อยละ 11.6 ของปริมาณโพแทสเซียมในน้ำ ในขณะที่แคลเซียมนั้นมีการลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมีปริมาณลดลง 0.11 mmol/L หรือร้อยละ 1.9 ของปริมาณแคลเซียมทั้งหมด แต่ปริมาณของคลอไรด์นั้นไม่พบว่ามีการลดลงแต่มีความเข้มข้นมาขึ้นเนื่องจากการระเหย

3. การชดเชยแร่ธาตุ Mg และ K ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันจะทำให้ได้อัตราการรอดของลูกกุ้งสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2548. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2546.** กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, ศูนย์สารสนเทศ, กรมประมง, กรุงเทพฯ

จักรตุพร วิสุทธิพันธ์. 2536. **ผลของแมกนีเซียมอิออนและโพแตสเซียมอิออนที่ระดับต่างๆ ต่ออัตราการรอดของ ลูกกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) ในน้ำเกลือสินเธาว์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. **อุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ

_____วราห์ เทพาหุดี, นิติ ชูเชิด, พรเลิศ จันทร์รัชชกูล และ นิธิศ ภัทรกุลชัย. 2547. การศึกษาหาระดับความเหมาะสมของอิออนสำคัญที่มีต่ออัตรารอดและการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ, น. 268-279. *ใน* **สัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยเรื่องการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาอุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้งของประเทศไทย.** กองโครงงานและประสานงานวิจัย, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ

_____,พิชาญ สว่างวงศ์ และจอร์จ มาชาโด. 2547. ผลของความเค็มน้ำต่อขบวนการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงทางสรีระเคมีของปูม้า (*Portunus pelagicus*) ในรอบวงจรการลอกคราบ. **รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยบูรพา**. 78 หน้า.

_____, อรสา สุริยาพันธุ์, กิตติยา อุปถัมภ์ และ สว่างพงศ์ สมมาตร. 2551. กระบวนการสะสมแร่ธาตุของกุ้งขาว (*Litopenaeus vanamei*) และประยุกต์การเสริมแร่ธาตุในระบบอนุบาลและการเลี้ยงในเชิงพาณิชย์. **รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยบูรพา**. 111 หน้า

ประจวบ หลำอุบล. 2527. **กุ้ง**. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพ

_____. 2537. **สรีรวิทยาของกุ้ง**. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

ประดิษฐ์ เชี่ยวสกุล. 2540. เกลือแกง. **ว.วิทยาศาสตร์.** 51(6): 369-377.

ประภาส โฉลกพันธ์รัตน์. 2524. **การศึกษาการเจริญเติบโตและจำนวนรอดของกุ้งก้ามกรามวัยรุ่น (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) ในอัตราต่างกันและเลี้ยงด้วยอาหารเม็ด2ประเภท**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประเสริฐ วิทยารัฐ. 2534. เกลืออีสาน. **ว. ราชบัณฑิตยสถาน**. 17(2): 36-50.

พิชาญ สว่างวงศ์. 2527. **สมุทรศาสตร์เบื้องต้น**.คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน, ชลบุรี.

ไพโรจน์ พรหมมนนท์ และ ทรงชัย สหวัชรินทร์. 2513. ผลการทดลองเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนที่สถานีประมงทะเลสงขลา.**รายงานประจำปีสถานีประมงทะเลจังหวัดสงขลา**. 25หน้า.

ผุสดี ศรีพยัตต์. 2529. **คู่มือจำแนกชนิด กุ้ง ปู และกั้ง ของฟิลิปปินส์**. สำนักเลขาธิการศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. แปลจาก ฮิโรชิ โมโตะ. **คู่มือจำแนกชนิดกุ้ง ปู และกั้ง ของฟิลิปปินส์** สำนักเลขาธิการศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.

มนูวดี หังสพฤกษ์. 2532. **สมุทรศาสตร์เคมี**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

ยงยุทธ ลิ่มพานิช และอำไพพรรณ คงทอง. 2547. การเปรียบเทียบการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยไรน้ำกร่อยและอาร์ทีเมีย. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 91/2547, กรมประมง**. 12 หน้า.

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

สมยศ กาสีวงศ์. 2543. **การอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius)ในน้ำทะเลเทียม** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

_____, และ พจนีย์ แพงไพรี. 2524. การปฏิบัติการเสริมกำลังผลิตกุ้งก้ามกราม ณ สถานีประมงจังหวัดฉะเชิงเทรา. **เอกสารเผยแพร่สถานีประมงจังหวัดฉะเชิงเทรา**. 14หน้า.

Arrignon, J.C.V., J.V. Huner, P.J. Raurent, J.M. Griessinger, D. Lacroix, P. Gondouin,. and M. Autrand. 1994. **Warm-water crustaceans**. Macmillan, London. 160 pp.

Brown, J.H. 1991. Freshwater prawn, pp. 31-43. *In* C.E. Nash, ed. **World Animal Science Product of Aquatic Animals**. Elsevier New York.

Dall, W. 1965. Studies on the physiology of a shrimp *Metapenaeus* sp. (Crustacea: Decapod: Penaeidae) V. calcium metabolism. **Aust. J. Mar. Freshwater Res**. 16: 181-203.

Drach, P. 1939. Mue et cycle d' intermue chezles crustaces decapodes. **Annual Instruction of Oceanography**. Monaco. 19, 103-391.

DuFur. 1990. Respiration during ecdysis at low salinity in blue crabs, *Callinectes sapidus* Rathbun. **Bull. Mar**. 46(1): 48–54.

FAO, 2000. **FAO year book Fisheries statistic. Aquaculture production**. 90(2) : 78 pp.

Garrison, T. 2006. **Essential of Oceanography 4th ed**. Thomson Learning, Inc. 368 pp.

Gelin, A., A.J. Crivelli, E. Rosecchi and P. Karambrun. 2001. Can salinity change affect reproductive success in the brown shrimp *Crangon crangon*. **J. Crust. Biol**. 21(4): 905–911.

Gilles, R. and A. Pequeux. 1986. Cell volume regulation in crustaceans: relationship between mechanisms for controlling the osmolality of extracellular and intracellular fluids **J. Exp. Zool**. 215: 351-362.

Glynn, J.P. 1968. Studies on the ionic, protein and phosphate changes associated with the moult cycle of *Homarus vulgaris*. **Comp. Biochem. Physio**. 26: 937-946.

Gonzalez, R.J., J. Drazen, S. Hathaway, B. Bauer and M. Simovich. 1996. Physiological eorrelates of water chemistry requirements in fairy shrimps (Anostraca) from Southern California. **J. Crust. Biol**. 16(2 : 315–322.

Greenaway, P. 1972. Calcium regulation in the fresh-water crayfish *Austrpotamobius pallipes* (Lereboullet). 1 . calcium balance in the intermoult animal. **J. Exp. Biol**. 57: 471-487.

Haefner, P.A. 1964. Hemolymph calcium fluctuations as related to environmental salinity during ecdysis of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. **Physiol. Zool**. 37 : 247 – 258.

Hagerman, L. and Uglow, R.F. 1982. Effect of hypoxia onosmotic and ionic regulation in the brown shrimp *Crangon crangon* (L.) from brackishwater. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol**. 63: 93-104.

Henry, R.P. and J.N. Cameron. 1982. Acid-base in *Callinectes sapidus* during acclimation from high to low salinity. **J. Exp. Biol**. 101: 255–264.

_____.and Kormanik, G.A. 1985. Carbonic anhydrase activity and calcium deposition during the molt cycle of the blue crab *Callinectes sapidus*. **J. Crust. Biol**. 5: 234 – 241.

Holiday, C.W. 1980. Magnesium transport by urinary bladder of the crab *Cancer magister* **J. Exp Biol**. 85: 187-201.

Ismael, D. and G.S. Moreira. 1997. Effect of temperature and salinity on respiratory rate and development of early larval stage of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegmann, 1836) (Decapod, Palaemonidae). **Comp. Biochem. Physiol. A.** 118: 871-876.

Kirkpatrick, K. and M.B. Jones. 1985. Salinity tolerance and osmoregulation of a prawn, *Palaemon affinis* Milne Edwards (Caridea : Palaemonidae). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 93: 61–70.

Knowlton, R.E. and D.F. Kirby. 1984. Salinity tolerance and sodium balance in the prawn *Palaemonetes pugio* Holthus, in relation to other *Palaemonetes* sp. **Comp. Biochem. Physiol. A.** 77: 425–430.

Ling S.W. and A.B.O.Merican. 1961. Notes on the life and habitats of the adults and larval stages of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). **Indo-Pacific fisheries council proceeding 9th session, Karacchi , Pakistan 6-23 Jan 1961. Sect II & III IPFC.Secretariat. FAO. Regional office for Asia & Far East Bangkok.** pp, 55-60.

Ling S.W. 1962. Studies on the rearing of larvae and culturing of adults of *M.rosenbergii* (de Man). **FAO Indo-Pac. Fisheries Council Current Affair**. 11 pp.

_____. 1969 The general biology and development of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) **FAO. Fish. Rep.** 57: 589-606.

Lockwood, A.P.M. 1967. **Aspect of the physiology of crustacea.** Freeman, San-Francisco,California

Lucu, C. 1978. Sodium balance and salinity tolerance of the mysid *Leptomysis mediterranea*, pp. 95-103. *In* McLusky, D.S. and A.J. Berry eds. **Physiology and Behavior of Marine Organisms.** Pergamon Press, New York.

Machado, J., J.Sá.C. Coimbra, and I. Cardoso. 1988. Shell thickening in *Anodonta cygnea* by induced acidosis. **Comp. Biochem. Physiol. A.** 91: 645-651.

Mangum, C.P., S.U. Silverthorn, J.L. Harris, D.W. Towle and A.R. Krall. 1976. The relationship between blood pH, ammonia excretion, and adaptation to low salinity in the blue crab, *Callinectes sapidus*. **J. Exp. Zool**. 195: 129–136.

Mantel, L.H. 1967. Asymmetry potential, metabolism and sodium fluxes in gills of the blue crab *Callinectes sapidus*. **Comp. Biochem. Physiol**. 20: 743-753.

Mantel, L.H. and L.L. Farmer. 1983. Osmotic and ionic regulation, pp. 53-161. *In* L.H. Mantel, ed. **The Biology ofCrustacea vol 4. Internal anatomy and physiological regulation**, Academic Press, New York.

Millero, J.F. 2006. **Chemical Oceanography third edition**. Taylor and Francis, Boca Raton.

O'donovan, P., M. Abraham and D. Cohen. 1984 The ovarian cycle during the intermoult Ovigerous *Macrobrachium rosenbergii*. **Aquaculture** 36: 347-358

Pratoomchat, B., P. Sawangwong,. P. Pakkong and J. Machado. 2002a. Organic and inorganic variations in haemolymph, epidermal tissue and cuticle over the molt cycle in *Scylla serrata* (Decapoda). **Comp. Biochem. Physiol**. 131(2): 243-255.

Pratoomchat, B., P. Sawangwong,. R. Guedes, M.D.L. Reis and J. Machado. 2002b. Cuticle ultrastructure changes in the crab *Scylla serrata* over the molt cycle. **J. Exp. Zool.** 293 (4): 414-426.

Price Sheets W.C. and J.E. Dendinger. 1983. Calcium deposition into the cuticle of the blue crab, *Callinectes sapidus*, related to external salinity. **Comp. Biochem. Physiol. A.** 74: 903–907.

Regnault, M. 1984. Salinity-induced changes in ammonia excretion rate of the shrimp *Crangon crangon* over a winter tidal cycle. **Mar. Ecol. Prog. Ser**. 20: 119–125.

Robertson, J.D. 1960. Osmotic and ionic regulation. *In*: *The physiology of crustacea vol.1.* Waterman, T.H. (Ed.), Academic Press, New York, pp. 317-339.

Rosas, C., L. Ocampo, G. Gaxiola, A. Sanchez and L.A. Soto. 1999. Effect of salinity on survival, growth, and oxygen consumption of postlarvae (PL10 – PL21) of *Litopenaeus setiferus*. **J. Crust. Biol**. 19(2): 244–251.

Santos, M.C.F. and G.S. Moreira. 1999. Time Course of osmoionic compensations to acute salinity exposure in the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol**. 235: 91-104.

Travis, D.F. 1955. The molting cycle of the spiny lobster, *Panulirus argus* Latreille.II. Pre-ecdysial histological and histochemical changes in the hepatopancreas and integumental tissues. **Biol. Bull.** 108: 88-112.

_____. and U. Friberg. 1963. The deposition of skeletal structures in the crustacea. VI. Micro-radiographic studies on the exoskeleton of crayfish *Orconectes* virilis Hagen. **J. Ultrastruct. Res.** 9: 285–301.

Waterman, H.T. 1960. **Physiology of crustacea. Vol. 1**. Academic press, New York, pp. 97-153.

Weiland, A.L. and C.P. Mangum. 1975. The influence of environmental salinity on hemocyanin function in the blue crab *Callinectes sapidus*. **J. Exp. Biol.** 193: 265-274.