ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล — **สาขา**

วิทยาศาสตร์ทางทะเล — **ภาควิชา**

เรื่อง ความสำคัญของแร่ธาตุหลัก 5 ชนิด (Na, K, Ca, Mg และ Cl) สำหรับการอนุบาลกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man)

Important Role of Five Major Elements (Na, K, Ca, Mg and Cl) for Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) larviculture

นามผู้วิจัย นายกระสินธุ์ หังสพฤกษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรณ์ ธำรงนาวาสวัสดิ์, Ph.D.)

กรรมการ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญรัตน์ ประทุมชาติ, Ph.D.)

กรรมการ .....
(รองศาสตราจารย์ประทักษ์ ตาบทิพย์วรรณ, Doctorate de 3 cycle.)

กรรมการ .....
(อาจารย์สรวิศ เผ่าทองศุข, Ph.D.)

กรรมการ .....
(รองศาสตราจารย์ประจวบ หลำอุบล, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันท์ ภัทรจินดา, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ความสำคัญของแร่ธาตุหลัก 5 ชนิด (Na, K, Ca, Mg และ Cl) สำหรับการอนุบาลกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man)

Important Role of Five Major Elements (Na, K, Ca, Mg and Cl) for Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) Larviculture

โดย

นายกระสินธุ์ หังสพฤกษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)
พ.ศ. 2552

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์ 2552: ความสำคัญของแร่ธาตุหลัก 5 ชนิด (Na, K, Ca, Mg และ Cl) สำหรับการอนุบาลกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) ปริญญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรณ์ ธำรงนาวาสวัสดิ์, Ph.D. 191 หน้า

การศึกษานี้เป็นการพยายามที่ จะพัฒนาเทคนิคสำหรับการเพาะ และอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีน้ำไหลเวียนแบบวงจรปิด โดยใช้เกลือจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ เกลือสินเธาว์ น้ำทะเลเข้มข้น และน้ำทะเลเทียม โดยการเตรียมน้ำกร่อยทำโดยการผสมเกลือกับน้ำจืด เพื่อให้ได้น้ำกร่อยที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ผลการทดลองพบว่าลูกกุ้งไม่สามารถอยู่รอดได้ เมื่อเลี้ยงในน้ำกร่อยที่เตรียมจากเกลือสินเธาว์ ในขณะที่อัตราการรอด และระยะพัฒนาการของลูกกุ้งที่อนุบาลโดยใช้น้ำทะเลเทียม (28.63±3.21%) และน้ำทะเลจากนาเกลือ (21.26±7.78%) ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) การศึกษาการพัฒนาของลูกกุ้งจากระยะแกสตรูลาไปเป็นระยะหัวใจเต้น และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแร่ธาตุหลัก (Na, K, Ca, Mg และ Cl) ในน้ำ ทำในแม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 5, 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของ Na ในน้ำมีการลดลง (P<0.05) ทุกระดับความเค็ม ขณะที่ความเข้มข้นของ Mg ลดลง (P<0.05) เฉพาะที่ความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพัน ส่วนความเข้มข้นของแร่ธาตุทั้ง 5 ชนิดในพลาสมาของแม่กุ้งมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกระดับความเค็ม เปอร์เซ็นต์การพัฒนาของไข่กุ้งจนถึงระยะหัวใจเต้นของแม่กุ้งที่บ่มไข่ในความเค็ม 5 และ15 ส่วนในพันมีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีค่าสูงกว่าที่ความเค็ม 25 ส่วนในพัน (P<0.05) นอกจากนี้อัตราการฟักไข่มีค่าสูงที่สุด (P<0.05) ในกุ้งที่บ่มไข่ที่ความเค็ม 5 ส่วนในพัน (53.40±0.69%) และลดลง (P<0.05) ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน (46.09±0.91%) และ 25 ส่วนในพัน (37.00±0.91%) ตามลำดับ เมื่อนำลูกกุ้งมาอนุบาลต่อในน้ำที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่าอัตราการรอดและระยะพัฒนาของลูกกุ้งไม่มีความแตกต่างกันแต่พบการลดลง (P<0.05) ของความเข้มข้น Na Mg และ K ในน้ำ ต่อจากนั้นได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งโดยใช้น้ำทะเลเทียมที่มีการเสริมแร่ธาตุ Mg+K Mg และ K ผลการทดลอง พบว่าระยะพัฒนาของลูกกุ้งในทุดชุดทดลองไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่ลูกกุ้งชุดที่มีการเสริมแร่ธาตุ Mg+K มีอัตราการรอดสูงกว่าชุดที่เสริมเฉพาะ K เพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม (P<0.05)

_____ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Krasindh Hangsapreurke 2009: Important Role of Five Major Elements (Na, K, Ca, Mg and Cl) for Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) Larviculture. Doctor of Philosophy (Marine Science), Major Field: Marine Science, Department of Marine Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Thon Thamrongnawasawat, Ph.D. 191 pages.

The study was an attempt to develop the techniques for *Macrobrachium rosenbergii* larviculture in the closed recirculating systems using salt from several sources such as rock salt, CSW (concentrated seawater from salt farm) and ASW (artificial seawater). Brackish water was prepared by mixing salts with freshwater to obtain 15 ppt. salinity. It was found that prawn larvae could not survive in brackish water that prepared from rock salt. On the other hand, survival rate and metamorphosis period of larvae cultivated using ASW (28.63±3.21%) and CSW (21.26±7.78%) were not significantly difference ($P>0.05$). Development of embryos from gastrula to heart beating stages and changes of 5 major elements (Na, K, Ca, Mg and Cl) concentrations in medium were studied with berried females incubated at 5, 15 and 25 ppt in ASW for 10 days. The results indicated that, concentration of Na in medium was significantly ($P<0.05$) decreased in all salinity while Mg was significantly ($P<0.05$) decreased at 5 and 15 ppt. Concentration of all 5 elements in plasma was rather constant at all salinity. Percentage of egg development through heart beating stage of berried females incubated at 5 and 15 ppt was similar ($P>0.05$) but it was significantly ($P<0.05$) higher than that incubated at 25 ppt. Moreover, the significantly ($P<0.05$) highest hatching rate was found at 5 ppt (53.40±0.69%) and significantly ($P<0.05$) decreased at 15 ppt (46.09±0.91%) and 25 ppt (37.00±0.91%), respectively. Further cultivation of larvae in 15 ppt illustrated that survival rate and metamorphosis period were not significantly difference ($P>0.05$), however, significantly ($P<0.05$) decreased of Na, Mg and K concentrations in medium was found. Finally, larviculture was performed using ASW supplemented with essential elements Mg+K, Mg and K. The results showed that metmorphosis of larvae were similar in all treatments but larvae in treatment with Mg+K supplement had significantly higher than those of supplement with K only and control ($P<0.05$).

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธรณ์ ธำรงนาวาสวัสดิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณ กรรมการวิชาเอก ผศ.ดร.บุญรัตน์ ประทุมชาติ รศ.ดร.ประทักษ์ ตาบทิพย์วรรณ ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข และรศ.ประจวบ หลำอุบล ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนสามารถเขียนเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ได้ และขอขอบคุณ ผศ. ดร. วราห์ เทพาหุดี ที่ให้เกียรติเป็นผู้แทนจากบัณฑิตวิทยาลัยในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย

ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณบริษัท Mariscience ที่ได้เอื้อเฟื้อผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียม สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ทุกการทดลอง และอาจารย์เกริก วงศ์สอนธรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่ได้ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำการใช้เครื่อง x-ray fluorescence spectrophotometry คุณประเสริฐ ประสงค์ผล คุณเกรียงศักดิ์ รองเดช และ ดร.จงกล พรมยะ ที่ได้ช่วยดูแลโรงเพาะฟักกุ้งก้ามกรามในการทำวิทยานิพนธ์ และช่วยแบ่งเบาภาระกิจในงานราชการ และคุณวีระนุช หังสพฤกษ์ ที่ได้ช่วยตรวจทาน และช่วยเหลือในการพิมพ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา คุณป้าสุดี ปุญญะ คุณป้าผ่องศรี ดวงรัตน์ พญ. กรพินธุ์ แก้วกระจ่าง และบุพการีทุกท่านที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดูจนเติบโตส่งเสียในการเล่าเรียน และให้กำลังใจตลอดเวลา

ขอกราบขอบพระคุณบูรพาจารย์ และคณาจารย์ทุกท่าน พระสิทธิญาณมุนี (หลวงพ่อสุข สุมังคโล และหลวงพ่อสุริยัน อัคคธัมโม ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการ ให้แก่ข้าพเจ้าจนมีสติปัญญา และความรู้จนสามารถเขียนเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับบนี้ได้

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์

กันยายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	62
อุปกรณ์	62
วิธีการ	65
ผลและวิจารณ์	90
ผล	90
วิจารณ์	142
สรุปและข้อเสนอแนะ	158
สรุป	158
ข้อเสนอแนะ	159
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	160
ภาคผนวก	176
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	191

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พัฒนาการของไข่กุ้งก้ามกรามที่ติดขาว่ายน้ำของแม่กุ้งหลังจากได้รับการปฏิสนธิแล้ว	15
2	อัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยอาหารเสริม 3 ชนิดสมทบกับอาร์ทีเมียและอาร์ทีเมียอย่างเดียว	24
3	อัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยไรน้ำกร่อย และอาร์ทีเมีย	24
4	อัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยอาร์ทีเมีย ไรแดง (*Moina macrocopa*) เสริมสารอาหารและไรแดงเสริมสารอาหารสลับกับอาร์ทีเมียเป็นเวลา 10 วัน	25
5	อาหารชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	26
6	อัตราความหนาแน่นในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	27
7	ระดับความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	29
8	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	30
9	ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	30
10	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	32
11	ปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	32
12	ค่าออสโมลาลิตี้ของของน้ำ และเลือดของกุ้งก้ามกรามขนาด 24.9 $\pm$ 1.36 กรัม ที่เลี้ยงในน้ำที่มีอัตราส่วนน้ำจืด และน้ำทะเลต่างกัน	34
13	เกลือที่ตกผลึกจากการระเหยของน้ำทะเลที่มีความเค็ม 35 ส่วนในพัน	54
14	องค์ประกอบของน้ำทะเลที่ความเค็ม 35 ส่วนในพัน	55
15	ปริมาณแร่ธาตุ (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเกลือสินเธาว์ จากแหล่งที่ต่างกันที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน	58
16	สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำทะเลเทียมในสูตรต่างๆ	59
17	ปริมาณแร่ธาตุที่ปรากฏอยู่บนซองเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียบภายใต้เครื่องหมายการค้าต่างๆ	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน	68
19	ความเข้มข้นของแร่ธาตุ ในสารละลายสำหรับการเตรียมกราฟมาตรฐานเมื่อเตรียมโดยการใช้สารเคมีตามตามตารางที่ 18	68
20	ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ได้จากการเจือจางสารละลายสำหรับการเตรียมกราฟมาตรฐานทั้ง 5 ระดับ	69
21	ปริมาณแร่ธาตุหลัก 5 ชนิดในรูปอิออน ที่มีอยู่ในน้ำเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากแหล่งน้ำเค็มที่แตกต่างกัน	70
22	คุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากแหล่งความเค็มต่างกัน 3 แหล่ง (พิสัยระหว่างค่าต่ำสุด-สูงสุดในช่วงระยะเวลา 30 วัน)	93
23	ความเข้มข้นของแร่ธาตุ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีนในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่แม่กุ้งที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน ทั้งก่อนและหลังการบ่มไข่ในเป็นเวลา 10 วัน	99
24	อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น (เฉลี่ยจากทุดชุดการทดลอง) ของแมกนีเซียมต่อแคลเซียมในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่มีระบบการไหลเวียนแบบปิดในช่วงวันที่ 17-30 ของการอนุบาล	134
25	คุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งที่ฟักจากไข่ ทำการบ่มในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน (พิสัยระหว่างค่าต่ำสุด-สูงสุด ในช่วงระยะเวลา 30 วัน)	137
26	คุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่มีการเสริมแร่ธาตุ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมร่วมกับแมกนีเซียม ในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิด (พิสัยระหว่างค่าต่ำสุด-สูงสุดในช่วงระยะเวลา 35 วัน)	141
27	ค่าขนส่งรวมกับค่าน้ำนาเกลือที่สามารถคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยปริมาตรเปรียบเทียบกับการใช้น้ำทะเลเทียม	144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

28 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตลูกกุ้งก้ามกรามในระยะโพสลาวาในระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด และระบบเปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 145

29 ระดับความเค็มและความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ isoionic point 152

ตารางผนวกที่

1 อัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากแหล่งน้ำเค็มต่างกัน ในตู้ทดลองความจุ 50 ลิตร ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด 177

2 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็ม ที่มีการเสริมแร่ธาตุ 177

3 อัตราการอดตายในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการบ่มไข่ที่ระดับความเค็มต่างกัน 178

4 อัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นต่อแม่กุ้งทั้งหมดในตู้ทดลองในการบ่มไข่ในน้ำเค็มที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา10 วัน 178

5 ปริมาณของโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25ส่วนในพัน และในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน 179

6 ปริมาณของแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน และในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน 179

7 ปริมาณของโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพันและในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน 180

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
8	ปริมาณของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน และในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน	180
9	ปริมาณของคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน และในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10วัน	181
10	อัตราการฟักไข่ของกุ้งก้ามกรามที่ผ่านการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน	181
11	ปริมาณโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน	182
12	ปริมาณโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน	182
13	ปริมาณโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	183
14	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน	183
15	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน	184
16	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	184
17	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน	185
18	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน	185

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
19	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	185
20	ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน	186
21	ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน	186
22	ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	187
23	ปริมาณคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน	187
24	ปริมาณคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน	188
25	ปริมาณคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	188
26	อภิธานศัพท์	189

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะภายนอกของกุ้งก้ามกราม	8
2	กุ้งก้ามกรามเพศผู้เมื่อเปรียบเทียบกับเพศเมีย (ก) และกุ้งก้ามกรามเพศผู้ (ข)	9
3	ขาว่ายน้ำคู่ที่ 2 ของกุ้งก้ามกราม เพศเมียซึ่งไม่มี Appendix masculina (ก) เมื่อเทียบกับเพศผู้ซึ่งมี Appendix masculina (ข)	10
4	การแพร่กระจายของกุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ	11
5	การผสมพันธุ์ของกุ้งก้ามกราม	12
6	วงจรชีวิตของกุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ	13
7	พัฒนาการของไข่กุ้งก้ามกรามที่ติดขาว่ายน้ำของแม่กุ้งหลังจากได้รับการปฏิสนธิแล้วซึ่งมีการพัฒนาในระยะต่างกันโดย ระยะเวลาวันที่ 1-2 (ก) ระยะเวลาวันที่ 3-4 (ข) ระยะเวลาวันที่ 5-7 (ค) ระยะเวลาวันที่ 8-12 (ง)และระยะเวลาวันที่ 13-17 (จ)	16
8	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 1	17
9	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 2	17
10	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 3	18
11	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 4	18
12	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 5	19
13	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 6	19
14	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 7	20
15	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 8	20
16	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 9	21
17	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 10	21
18	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 11	22
19	ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะโพสลาวา	22
20	ความเข้มข้นของ Na K Ca และ Mg ในเลือดกุ้งที่อยู่ในน้ำที่มีอัตราส่วนน้ำทะเต่อน้ำจืดต่างกัน	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ค่าออสโมลาลิตี้ ความเข้มข้นของ คลอไรด์ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมใน hemolymph ของกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ในระยะโตเต็มวัย (adult)ในแต่ละระยะการลอกคราบ	38
22	องค์ประกอบหลักของเปลือกปูทะเล (*Scylla serrata*) ในรอบวงจรการลอกคราบ	47
23	โครงสร้างของเปลือกในแต่ละระยะการลอกคราบ	48
24	ตู้กระจกสำหรับอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ภาพด้านข้างแสดงช่องติดตั้งระบบกรอง (ก) ภาพด้านข้างแสดงช่องสำหรับติดตั้งปั๊มน้ำ (ข) ภาพด้านบนแสดงการแบ่งช่องภายในตู้ทดลอง (ค) และ ภาพด้านบนของตู้ทดลองที่มีกระชังสำหรับอนุบาลลูกกุ้งลอยอยู่ (ง) และภาพรวมของตู้ทดลองในขณะทำการทดลอง (จ)	63
25	ไบโอบอล (bioball) ชนิดต่างๆ	64
26	กระชังผ้าที่มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน สำหรับใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในตู้ที่มีระบบน้ำเค็มไหลเวียนแบบปิด	64
27	เครื่อง X- ray fluorescence spectrophotometry รุ่น Oxford ED^{2000}	65
28	ปริมาณ โซเดียม (Na) และ คลอรีน (Cl)ในน้ำทะเลธรรมชาติ น้ำทะเลเทียม 70 น้ำนาเกลือ และ น้ำเกลือสินเธาว์ ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน	70
29	ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) และแคลเซียม (Ca) ในน้ำทะเลธรรมชาติ น้ำทะเลเทียม น้ำนาเกลือ และน้ำเกลือสินเธาว์ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน	71
30	ตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	74
31	การกระตุ้นไบโอบอลเพื่อให้มีแบคทีเรียไนตริฟายเออร์มาเกาะ	75
32	การไหลเวียนของน้ำแบบวงจรปิดในตู้ทดลองที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม	75
33	แม่กุ้งที่มีไข่ที่มีพัฒนาการของตัวอ่อนในระยะแกสตรูลาซึ่งมีสีส้ม	76
34	แม่กุ้งที่มีไข่ระยะหัวใจเต้น ซึ่งมีสีเทาเข้ม	76
35	พัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามทั้ง 12 ระยะ	78
36	แผนภาพสรุปวิธีการทดลองที่ 1	81
37	แผนภาพสรุปวิธีการทดลองที่ 2	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	ไข่กุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการของตัวอ่อนระยะแกสตรูลาซึ่งไข่มีสีส้ม (ก) และไข่กุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการของตัวอ่อนระยะหัวใจเต้นซึ่งไข่มีสีเทา (ข)	84
39	แผนภาพสรุปวิธีการทดลองที่ 3	85
40	แผนภาพสรุปวิธีการที่ 4	88
41	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) ของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจาก น้ำนาเกลือ น้ำทะเลเทียม และน้ำเกลือสินเธาว์ที่มีการชดเชยแร่ธาตุแล้ว ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด	91
42	ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็ม ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากน้ำนาเกลือ น้ำทะเลเทียม และน้ำเกลือสินเธาว์ ที่มีการชดเชยแร่ธาตุแล้วในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด	91
43	ปริมาณแอมโมเนียรวมตลอดการทดลองที่ 1	94
44	ปริมาณไนไตรท์ตลอดการทดลองที่ 1	94
45	อัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นต่อแม่กุ้งทั้งหมด ที่ทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน ในช่วงระยะเวลา10 วัน ในการบ่มไข่	97
46	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้งในขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ ก่อน และหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน	101
47	ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น	101
48	การควบคุมความเข้มข้นของโซเดียม ในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-25 ส่วนในพัน	103
49	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียม ในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลาถึงระยะหัวใจเต้น	105
51	การควบคุมความเข้มข้นของแมกนีเซียม ในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน	107
52	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน	108
53	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลาถึงระยะหัวใจเต้น	109
54	การควบคุมความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะ ที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน	110
55	การควบคุมความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะ ที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	111
56	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5, 15 และ 25 ส่วนในพัน	112
57	ความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับ ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น	113
58	การควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-7 ส่วนในพัน	114
59	การควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	115

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลาถึงระยะหัวใจเต้น	105
51	การควบคุมความเข้มข้นของแมกนีเซียม ในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน	107
52	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน	108
53	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลาถึงระยะหัวใจเต้น	109
54	การควบคุมความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะ ที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน	110
55	การควบคุมความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะ ที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	111
56	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5, 15 และ 25 ส่วนในพัน	112
57	ความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับ ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น	113
58	การควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-7 ส่วนในพัน	114
59	การควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน	115

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
60	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้งในขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน	116
61	ความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น	117
62	การควบคุมความเข้มข้นของคลอรีนในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-17 ส่วนในพัน	118
63	การควบคุมความเข้มข้นของคลอรีนในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 18-25 ส่วนในพัน	119
64	อัตราการฟักไข่ของกุ้งก้ามกรามที่บ่มไข่ในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน	120
65	ระดับความเค็มของน้ำและการอพยพของกุ้งก้ามกรามในการวางไข่	121
66	อัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่ของแม่พันธุ์ที่ทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน นำมาอนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันเป็นเวลา 30 วัน	123
67	ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่ของแม่พันธุ์ที่ทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน นำมาอนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันเป็นเวลา 30 วัน	124
68	ความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ 25 ส่วนในพัน(ค)	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
69	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ25 ส่วนในพัน(ค)	129
70	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ25 ส่วนในพัน(ค)	130
71	ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ25 ส่วนในพัน(ค)	131
72	ความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ25 ส่วนในพัน(ค)	132
73	การลดลงของความเข้มข้น โซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในระบบการไหลเวียนแบบปิด	133
74	อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น (เฉลี่ยจากทุดชุดการทดลอง) ของแมกนีเซียมต่อแคลเซียม ในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่มีระบบการไหลเวียนแบบปิดในช่วงวันที่ 17-30 ของการอนุบาล	135
75	การลดลงของความเข้มข้น แคลเซียม และ คลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในระบบการไหลเวียนแบบปิด	136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
76	ปริมาณโซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม รวมจากทุกชุดการทดลอง ในการทดลองที่ 3 ที่มีปริมาณลดลง ในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในวันที่ 15 ของการอนุบาล	138
77	อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในตู้ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด โดยมีการชดเชยแร่ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และชดเชยทั้งโพแทสเซียม และแมกนีเซียม ในวันที่ 15 ของการอนุบาล	139
78	ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด โดยมีการเสริมแร่ธาตุโพแทสเซียมแมกนีเซียม และเสริมทั้งโพแทสเซียม และแมกนีเซียม ในวันที่ 15 ของการอนุบาล	140
79	การชดเชยแร่ธาตุในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 5 ส่วนในพันเพื่อใช้ในการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม	153

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ความสำคัญของแร่ธาตุหลัก 5 ชนิด (Na, K, Ca, Mg และ Cl) สำหรับการอนุบาลกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man)

Important Role of Five Major Elements (Na, K, Ca, Mg AND Cl) for Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) Larviculture

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 อย่างไรก็ตามยังคงมีประเด็นอีกมากมายที่ยังคงต้องมีการศึกษาวิจัย ทั้งนี้เพื่อให้สามารถทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นประเด็นที่เกี่ยวกับผลของน้ำเค็มแบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

ประเด็นที่ 1 เป็นการศึกษาในด้านของแหล่งที่มาของน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยทั่วไปจะใช้น้ำทะเล ที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงมาทำให้เจือจางโดยการผสมกับน้ำจืด เพื่อปรับให้มีความเค็มอยู่ในช่วงที่ลูกกุ้งต้องการ แหล่งที่มาของน้ำเค็มสามารถหาได้จากหลายแหล่งได้แก่ การใช้เกลือสมุทร และการใช้เกลือสินเธาว์ หรือกระทั่งการใช้น้ำทะเลเทียมที่มีการคิดค้นเป็นสูตรสำเร็จรูป หรือเกลือสำเร็จรูปในทางการค้าสำหรับเตรียมน้ำทะเลเทียม โดยการนำเกลือเหล่านั้นมาละลายน้ำให้มีความเค็มในช่วงที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง ซึ่งวิธีนี้นับเป็นการลดต้นทุนการขนส่งน้ำเค็มที่ดีวิธีหนึ่ง

ประเด็นที่ 2 เป็นการศึกษาการลดอัตราการใช้น้ำเค็มในการอนุบาลลูกกุ้งโดยพยายามศึกษาวิธีการลดปริมาณน้ำเค็มลง หรือการนำมาใช้หมุนเวียน เพื่อให้ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยลดการปนเปื้อนของน้ำเค็มที่จะต้องถูกทิ้งลงในพื้นที่สำหรับเกษตรกรรม และแหล่งน้ำในการอุปโภค และบริโภคให้มากที่สุด การศึกษาในประเด็นนี้ยังเป็นการลดต้นทุนการขนส่งน้ำเค็มอีกด้วย เช่นการศึกษาของ Tansakul (1983) ที่ได้อนุบาลลูกกุ้งในน้ำที่มีการเปลี่ยนถ่ายในอัตราน้อยมาก ซึ่งมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพียงร้อยละ 12.5 ทุกๆ 5 วัน หรือในการทดลองในระบบน้ำเค็มที่มีการไหลเวียนแบบปิด (Closed recirculating water system) โดย Menasveta and Piyatiratitivorakul (1980) ซึ่งได้ทำการทดลองอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่มีการไหลเวียนแบบปิด โดยการกรองผ่านชั้นทราย (Subsand filter closed recirculating water system) เพื่อบำบัดแอมโมเนีย และไนไตรท์ ที่เป็นของเสียจากตัวลูกกุ้ง การศึกษาในประเด็นนี้ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าเป็นการศึกษาที่มุ่งเน้นการใช้น้ำเค็มให้น้อยที่สุด

ประเด็นที่ 3 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แร่ธาตุเสริมในน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม การศึกษาในประเด็นนี้มีความเกี่ยวพันกับประเด็นที่ 1 แต่จะเน้นในส่วนของการเสริมแร่ธาตุบางชนิดที่มีความจำเป็นต่อลูกกุ้งให้กับแหล่งน้ำเค็มที่นำมาใช้ โดยมีจุดมุ่งหมายว่าหากทำการเสริมแร่ธาตุให้กับน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลแล้วจะทำให้มีผลผลิตลูกกุ้งก้ามกรามดีขึ้นและมีอัตราการรอดสูงขึ้น เช่นการศึกษาของ อนันต์ (2523) ที่ได้ทำการพัฒนาการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนโดยใช้เกลือสินเธาว์ เกลือสมุทร และน้ำเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การศึกษาของ อนันต์ และคณะ (2526) ที่ได้ทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มผลผลิตลูกกุ้งก้ามกรามโดยการเพาะเลี้ยงลูกกุ้งในน้ำเกลือผสม หรือในการศึกษาการเสริมแร่ธาตุแมกนีเซียม และโพแทสเซียม ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (จักรตุพร, 2536) แม้กระทั่งในประเทศที่มีระยะทางห่างไกลจากทะเล ทำให้ขาดแคลนแหล่งน้ำเค็มที่มีแร่ธาตุเพียงพอในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม เช่น ในประเทศเนปาลที่มีเพียงเกลือสินเธาว์เป็นแหล่งน้ำเค็ม ทำให้ Thapa (2002) ได้นำเกลือสินเธาว์จากประเทศเนปาล มาทดลองใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยมีการเสริมแร่ธาตุ และเมื่อไม่นานมานี้ก็ได้มีการศึกษาโดย วรรณนัฑ และ คมน์ (2548) ที่ได้ศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยใช้น้ำเกลือสินเธาว์ที่มีการชดเชยแร่ธาตุ

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งความเค็ม วิธีการใช้น้ำเค็ม และแร่ธาตุในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามมาแล้วแต่ก็ยังคงเป็นการศึกษาในเชิงการเพาะเลี้ยงและการปรับเปลี่ยนแหล่งน้ำเค็ม แต่ยังไม่มีการศึกษาในเชิงลึกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุชนิดที่จำเป็น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเค็มจากแหล่งต่างๆ นั้นมีแร่ธาตุหลายชนิดละลายอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีปริมาณแร่ธาตุหลักเช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน ที่แตกต่างกันอย่างมาก โดยที่น้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสินเธาว์นั้นมักจะพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม ต่ำกว่าน้ำเค็มจากแหล่งอื่นๆ ทั้งนี้ เนื่องจากกระบวนการการเกิดขึ้นของชั้นหินเกลือใต้ดิน และกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์นั้นมีผลทำให้แร่ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม มีปริมาณต่ำลง ในด้านวิธีการใช้น้ำเค็มในการอนุบาลลูกกุ้งนั้น การใช้น้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดนั้น พบว่าก็ยังคงมีปัญหาในด้านอัตราการรอดของโพสลาวา ที่ผลิตได้ต่ำกว่าการอนุบาลในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ในปัจจุบันกุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่เกษตรกรให้ความนิยมในการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ทั้งในภาคบริษัทขนาดใหญ่ 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

เมื่อประมวลผลการศึกษาทั้งหมดที่ปรากฏในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว ก็จะพบว่ามีการเกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ คือ 1. องค์ความรู้เกี่ยวกับแหล่งที่มาของน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม และระบบใช้น้ำเค็มในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่มีอัตราการใช้น้ำเค็มในปริมาณ

ที่ต่ำโดยการใช้น้ำเค็มในระบบที่มีการไหลเวียนแบบปิด ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย และไนไตรท์ทำให้ได้น้ำมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามอยู่ตลอดเวลาที่ทำการอนุบาลโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และระบบนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อไปเพื่อที่จะใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะเป็นระบบที่เหมาะสมกับการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งในพื้นที่ที่มีระยะทางห่างไกลจากทะเล 2. องค์ความรู้เกี่ยวกับระดับความเค็มที่เหมาะสม ปริมาณแร่ธาตุที่ต้องเสริมลงไปในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่กุ้งก้ามกรามเพื่อให้ตัวอ่อนในระยะคัพภะมีพัฒนาการดีขึ้น และมีอัตราการฟักไข่สูงขึ้น 3. องค์ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน ที่มีอยู่ในน้ำเค็มที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดในแง่ของความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณกับช่วงเวลาการอนุบาลลูกกุ้ง ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดที่มีปริมาณลดลงเพื่อเสริมปริมาณแร่ธาตุชนิดนั้นๆลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลูกกุ้งทำให้มีอัตราการรอดตายสูงขึ้น

ดังนั้นองค์ความรู้ใหม่ทั้ง 3 ประการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะทำให้อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีการพัฒนาต่อไปได้

วัตถุประสงค์

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

2. เพื่อศึกษาระดับความเค็มที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน และแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดที่มีต่อการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม (จากระยะแกสตรูลาถึงระยะที่มีหัวใจเต้น) และความเข้มข้นแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำที่ใช้เลี้ยง และในพลาสมาของแม่กุ้งทั้งก่อนและหลังการบ่มไข่ เพื่อนำไปศึกษาอัตราการฟักในระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

3. เพื่อศึกษาผลของระดับความเค็มในการบ่มไข่ต่ออัตราการรอด และพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน และการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในการอนุบาลในระบบปิด

4. เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุที่ขาดหายไปตามข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาในวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนถึงระยะโพสลาวา

การตรวจเอกสาร

อนุกรมวิธาน ลักษณะภายนอก และชีววิทยาโดยทั่วไปของกุ้งก้ามกราม

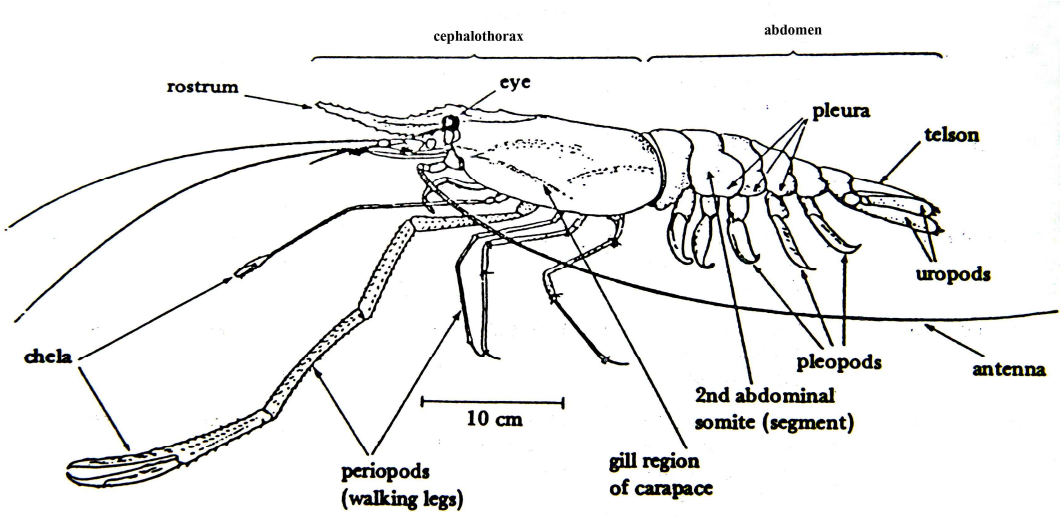
1. อนุกรมวิธาน

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 โดนที่ปลายกรีจะยาวเลยแผ่นฐานหนวดคู่ที่ 2

2.2 ลักษณะของหนวดคู่ที่ 1 และ 2

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

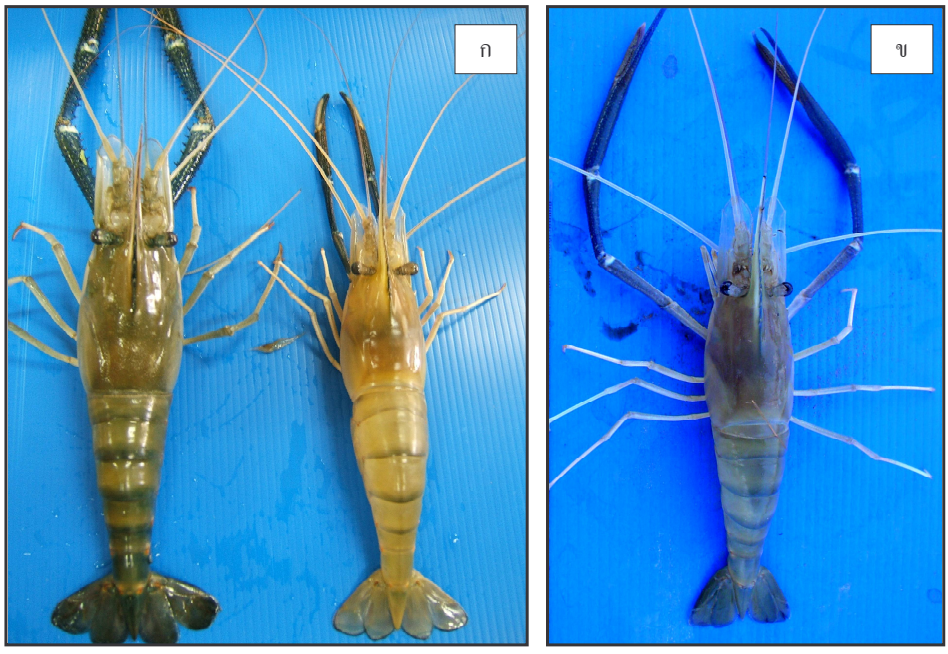
2.3 ลักษณะของขาเดิน

ขาเดินคู่ที่ 1 ของกุ้งก้ามกรามเมื่อนำมายืดตรง พบว่าความยาวครึ่งหนึ่งของปล้องที่ 3 (carpus) จะยาวเลยแผ่นฐานหนวด และส่วนปลายของก้าม (dactylus) จะมีความยาวเท่ากับส่วนของ

ตัวหนีบของปลายปล้องที่ 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)

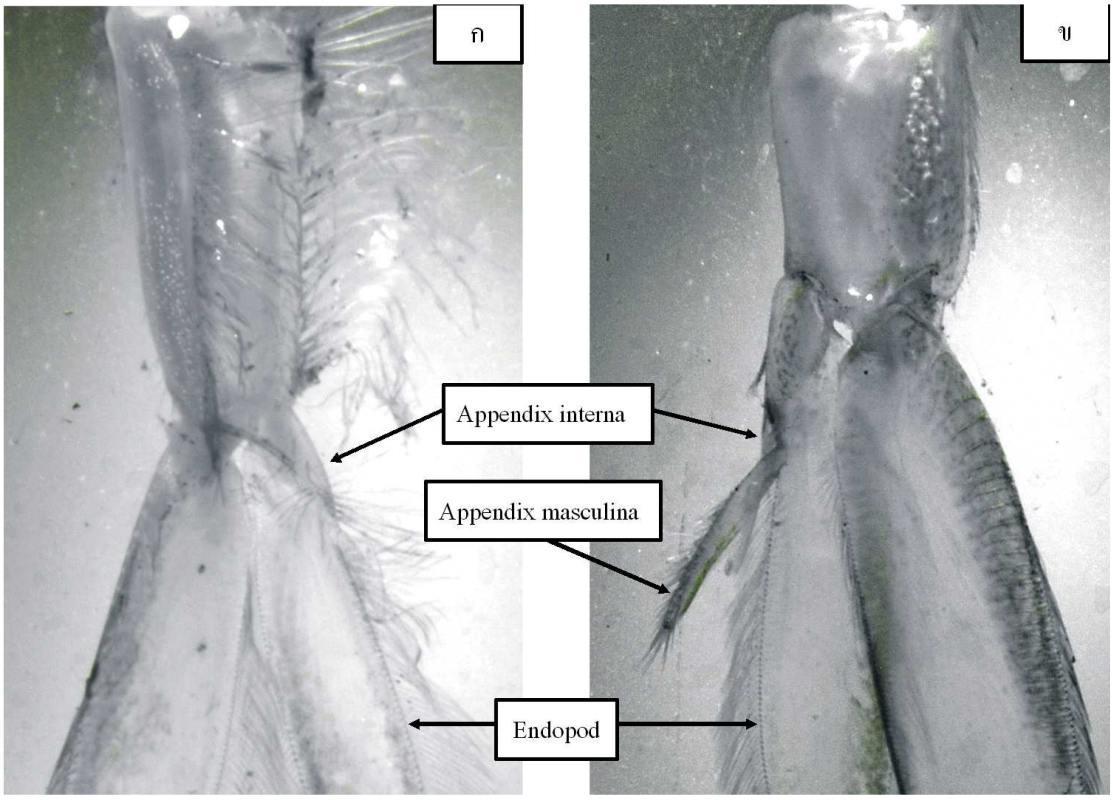
ขาเดินคู่ที่ 3 ในส่วนปลายสุดของขาหรือปล้องที่ 7 (dactylus) มีลักษณะเป็นปลายแหลมธรรมดา ส่วนของปล้องที่ 2 จะมีความยาวมากกว่า 2 เท่าของปล้องปลายสุด หรือประมาณ 1-7 เท่าของปล้องที่ 3 ส่วนขาเดินคู่ที่ 4-5 มีลักษณะปกติโดยไม่มีลักษณะเป็นก้าม และมีความยาวปกติ



ภาพที่ 2 กุ้งก้ามกรามเพศผู้เมื่อเปรียบเทียบกับเพศเมีย (ก) และกุ้งก้ามกรามเพศผู้ (ข)

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 3)

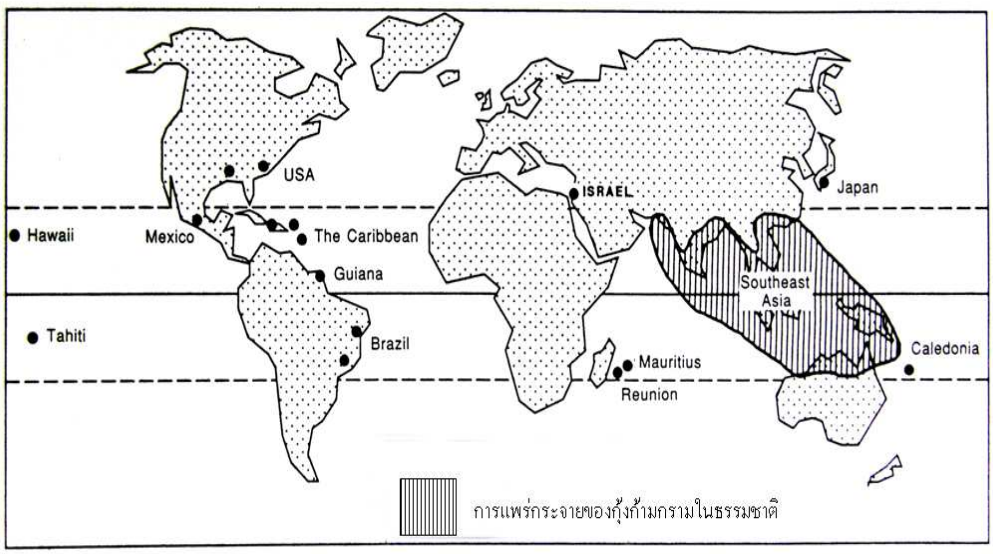


ภาพที่ 3 ขาว่ายน้ำคู่ที่ 2 ของกุ้งก้ามกราม เพศเมียซึ่งไม่มี Appendix masculina (ก) เมื่อเทียบกับเพศผู้ซึ่งมี Appendix masculina (ข)

3. ชีววิทยาโดยทั่วไปของกุ้งก้ามกราม

3.1 การแพร่กระจายของกุ้งก้ามกราม

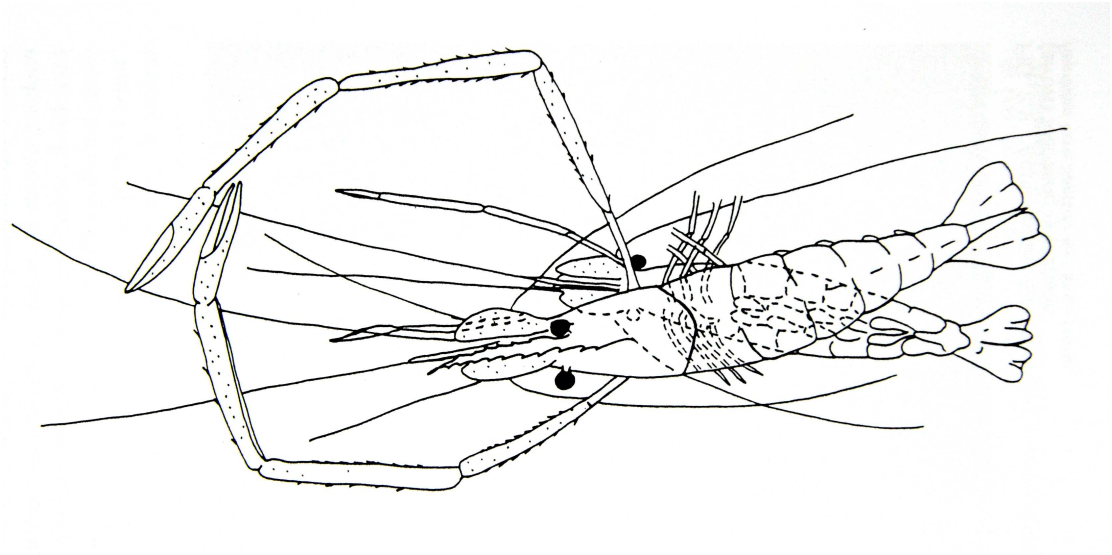
กุ้งก้ามกรามเป็นกุ้งขนาดใหญ่ชนิดหนึ่งที่มีการแพร่กระจายอยู่ในเขตร้อน พบได้ในภูมิภาคอินโด–แปซิฟิกตะวันตก เช่น ประเทศ อินเดีย มาเลเซีย สิงค์โปร์ ไทย บอร์เนียว นิวกินี และฟิลิปปินส์ (ผุสดี, 2529; Arrignon *et al.,* 1994) (ภาพที่ 4) โดยพบในแม่น้ำ ลำคลอง และแหล่งน้ำทั่วไป ตลอดจนบริเวณปากแม่น้ำในบริเวณที่มีอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ส่วนในประเทศไทยนั้นพบว่า มีกุ้งก้ามกรามกระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ และส่วนใหญ่จะมีความชุกชุมในบริเวณจังหวัดที่ตั้งอยู่บนฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และทะเลสาบสงขลา (จักรตุพร, 2536)



ภาพที่ 4 การแพร่กระจายของกุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ
ที่มา: Arrignon *et al.* (1994)

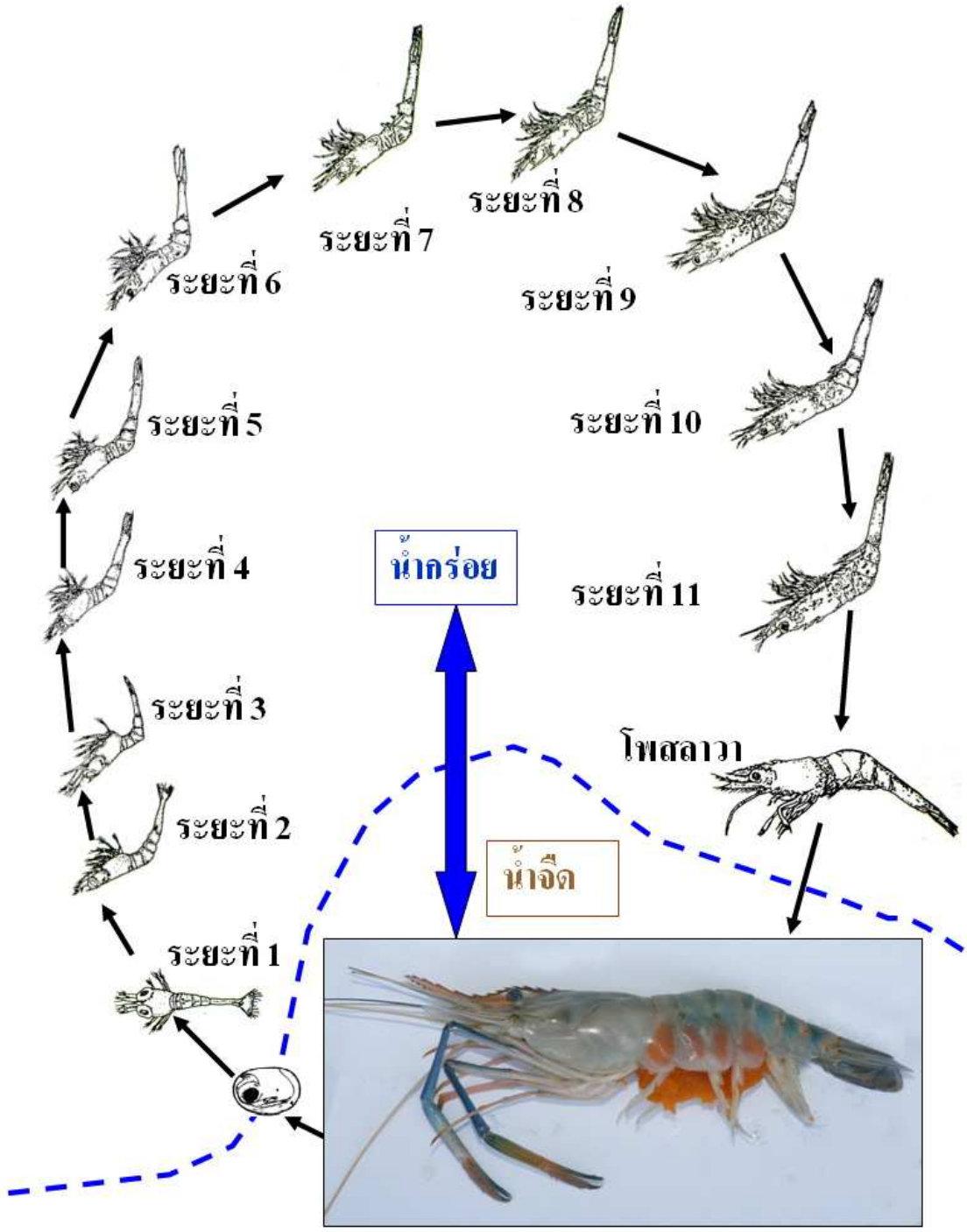
3.2 ชีวประวัติของกุ้งก้ามกราม

กุ้งก้ามกรามนั้นจะเริ่มผสมพันธุ์ และวางไข่ได้ เมื่อมีอายุประมาณ 6-7 เดือน หรือมีความยาวประมาณ 9.8-11.3 เซนติเมตร และสามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ตลอดทั้งปี (ประภาส, 2524; ประจวบ, 2527) ในธรรมชาตินั้นเมื่อกุ้งเพศเมียลอกคราบเสร็จใหม่ๆ กุ้งเพศผู้จะเริ่มเกี้ยวพาราสี และทำการผสมพันธุ์ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การผสมพันธุ์ของกุ้งก้ามกราม
ที่มา: Sandifer and Smith (1985)

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



ภาพที่ 6 วงจรชีวิตของกุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ

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

3.3 พัฒนาการของไข่และตัวอ่อนกุ้งก้ามกราม

Damrongphol *et. al.* (1991) ได้รายงานว่า ไข่ของกุ้งก้ามกรามก่อนที่จะได้รับการผสมพันธุ์ จะมีการพัฒนาอีก 5 ระยะซึ่งมีลักษณะ ดังนี้

3.3.1 ไข่ในระยะแรกของโปรเฟส (prophase) ของการแบ่งตัวแบบไมโอซีส(meiosis) มีขนาดเล็กมีรูปร่างกลม มีนิวเคลียสขนาดใหญ่อยู่ตรงกลาง มีส่วนไซโตพลาสซึม(cytoplasm) อยู่รอบๆ และไม่พบส่วนของเซลโฟลิเคิล (follicle cell) ไข่ในระยะนี้มีขนาดประมาณ 8.5 ไมครอน

3.3.2 ไข่ในระยะ previtellogenesis ไข่ในระยะนี้ พบว่า ส่วนไซโตพลาสซึมจะย้อมติดสี basophilic ได้ดี มีลักษณะเป็นแท่ง มีอัตราส่วนของ nucloecytoplasmic ลดลง มีการกระจายของ heterochromatin ออกจากส่วนนิวเคลียสจนสามารถมองเห็นส่วนนิวคลีโอลัสได้ชัดเจน และมีส่วนของเซลโฟลิเคิลล้อมรอบไข่ ไข่ในระยะนี้มีขนาดประมาณ 12-100 ไมครอน

3.3.3 ไข่ในระยะ primary vitellogenesis ลักษณะของไข่ในระยะนี้ พบว่าส่วนของไซโตพลาสซึม จะย้อมติดสี acidophilic แต่บริเวณรอบๆ นิวเคลียสจะย้อมติดสี basophilic ในส่วนของโอโอพลาสซึมนั้น พบว่ามีหยดน้ำมันขนาดใหญ่ และที่บริเวณผิวของไข่จะมี microvilli ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งสั้นๆ ยื่นออกมา ไข่ในระยะนี้จะสามารถมองเห็นเซลโฟลิเคิลชัดเจน ที่บริเวณขอบของไข่จะมีไมโตครอนเดีย endoplasmic reticulum vesicular bodies และไรโบโซม ส่วนผิวด้านนอกของเซลโฟลิเคิลถูกหุ้มด้วย fibrous basement lamina ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันแบ่งไข่ออกเป็นพูๆ ซึ่งเรียกว่า trabeculae ไข่ระยะนี้มีขนาดประมาณ 100-170 ไมครอน

3.3.4 ไข่ในระยะ secondary vitellogenesis ลักษณะของไข่ในระยะนี้พบว่าภายในไข่ประกอบด้วยก้อนไขมัน vitelline plaquets และ small cortical glycoprotein vesicles ไข่ในระยะนี้ในช่วงปลายระยะ พบว่า มีเซลโฟลิเคิลอยู่น้อย และมีขนาดประมาณ 170-300 ไมครอน

3.3.5 ไข่ในระยะไข่สุก ลักษณะของไข่ในระยะนี้จะไม่พบเซลโฟลิเคิลที่บริเวณรอบๆ ไข่ แต่จะพบส่วน vitelline ล้อมรอบแทนที่ ไข่ในระยะนี้จะประกอบด้วยก้อนไขมัน และ protein plaquets ในปริมาณมาก และมีขนาดประมาณ 530 ไมครอน

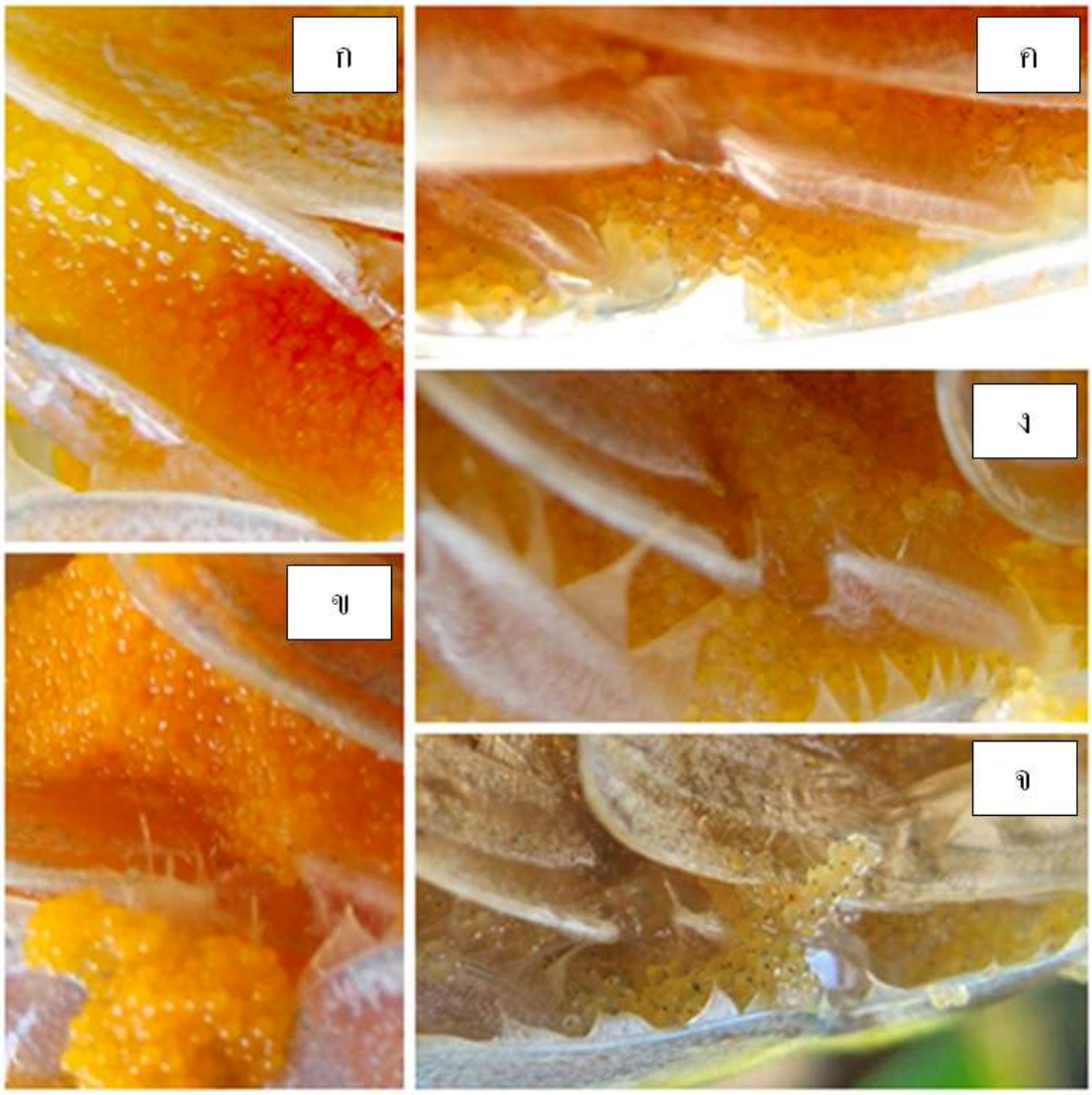
3.4 พัฒนาการของไข่กุ้งก้ามกรามหลังการปฏิสนธิ

หลังจากที่กุ้งมีการลอกคราบแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง ไข่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนท้องเพื่อรับการผสมจากน้ำเชื้อจากกุ้งเพศผู้ และเกาะติดอยู่ที่ขาว่ายน้ำของแม่กุ้งโดยมีพัฒนาการของไข่ตามลักษณะที่ปรากฏดัง ต่อไปนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 พัฒนาการของไข่กุ้งก้ามกรามที่ติดขาว่ายน้ำของแม่กุ้งหลังจากได้รับการปฏิสนธิแล้ว

ระยะเวลา (วันที่)	ลักษณะที่ปรากฏ
วันที่ 1-2	ไข่มีสีส้มซึ่งเป็นสีของไข่แดงที่ใช้เป็นอาหารของตัวอ่อน (ภาพที่ 7 ก)
วันที่ 3-4	ปรากฏส่วนลำตัวของตัวอ่อนซึ่งมีลักษณะใสอยู่ภายในไข่ (ภาพที่ 7 ข)
วันที่ 5-7	เริ่มปรากฏส่วนตาของตัวอ่อนมีลักษณะเป็นจุดสีดำ (ภาพที่ 7 ค)
วันที่ 8-12	ลำตัวของตัวอ่อนเจริญมากขึ้น ไข่แดงมีปริมาณลดลง (ภาพที่ 7 ง)
วันที่ 13-17	ไข่มีสีน้ำตาลเข้มหรือเทา มีลูกกุ้งอยู่ภายในเห็นได้ชัด (ภาพที่ 7 จ)

ที่มา: Damrongphol *et al.* (1991)

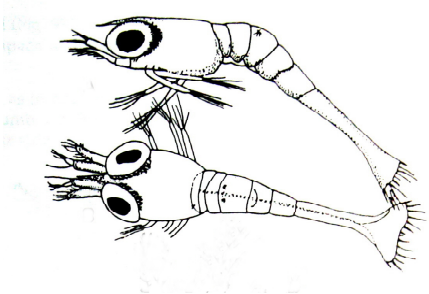


ภาพที่ 7 พัฒนาการของไข่กุ้งก้ามกรามที่ติดขาว่ายน้ำของแม่กุ้งหลังจากได้รับการปฏิสนธิแล้ว ซึ่งมีการพัฒนาในระยะต่างกันโดย ระยะเวลาวันที่ 1-2 (ก) ระยะเวลาวันที่ 3-4 (ข) ระยะเวลาวันที่ 5-7 (ค) ระยะเวลาวันที่ 8-12 (ง) และระยะเวลาวันที่ 13-17 (จ)

3.5 ระยะการพัฒนาของลูกกุ้งก้ามกราม

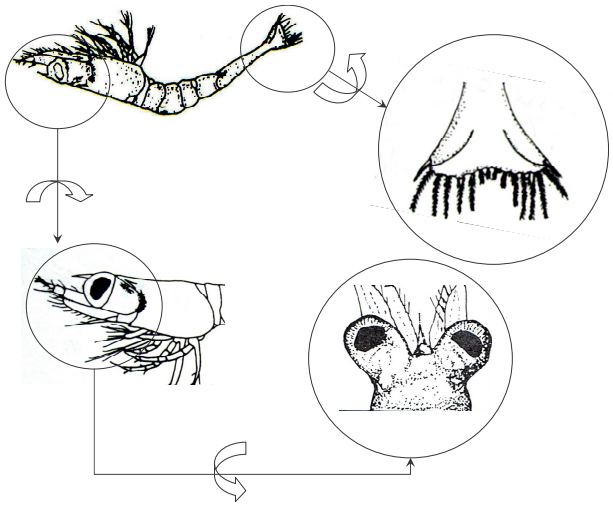
เมื่อไข่ฟักเป็นตัว ตัวอ่อนของลูกกุ้งก้ามกรามก็จะมีพัฒนาการ โดยมีการลอกคราบเพื่อเข้าสู่พัฒนาการในระยะต่อไปอีก 12 ระยะ (ภาพที่ 8-19) ในแต่ละระยะมีรายละเอียดของลักษณะภายนอกที่ปรากฏ ดังนี้

3.5.1 ระยะที่ 1 เมื่อลูกกุ้งฟักออกจากไข่แล้วจะมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 1 โดยที่มีตาขนาดใหญ่อยู่ชิดกันทั้ง 2 ตา ก้านตายังไม่เจริญ กรีมีลักษณะคล้ายหนามแหลมยื่นออกไปตรงระหว่างตาทั้ง 2 ข้าง หางมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมเป็นเยื่อใสบางๆ แนวสุดท้ายของหางเว้าเล็กน้อย แพนหางยังไม่เจริญ มีขนาดประมาณ 1.92 มิลลิเมตร (ภาพที่ 8)



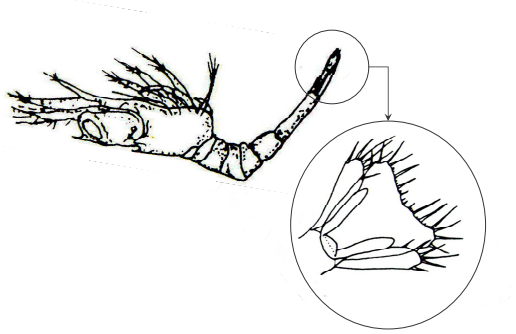
ภาพที่ 8 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 1
ที่มา: Jayachandran (2001)

3.5.2 ระยะที่ 2 ลูกกุ้งมีตามีขนาดใหญ่แยกจากกัน ก้านตาเริ่มเจริญ กรีมีลักษณะคล้ายหนามแหลม และยังคงมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม แพนหางแผ่นนอกเริ่มปรากฏเป็นแนวโค้งอยู่ทางด้านข้างของหาง มีขนาดประมาณ 1.99 มิลลิเมตร (ภาพที่ 9)



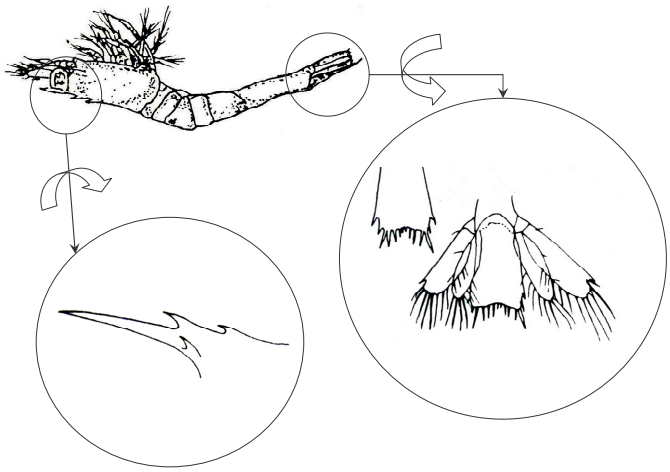
ภาพที่ 9 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 2
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.3 ระยะที่ 3 มีตาและก้านตาที่เจริญขึ้นสามารถกรอกตาไปมาได้ กรีมีความยาวมากขึ้น หางมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว แพนหางอันนอกแยกออกจากหางได้ชัดเจน และเริ่มปรากฏแพนหางอันใน แต่ยังคงซ้อนอยู่ในแผ่นหาง มีขนาดประมาณ 2.14 มิลลิเมตร (ภาพที่ 10)



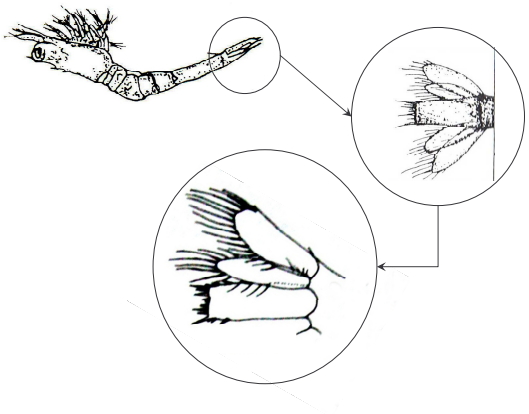
ภาพที่ 10 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 3
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.4 ระยะที่ 4 หางของลูกกุ้งมีลักษณะปรากฏเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีฐานโค้งเว้าคล้ายรูปวงเดือน แพนหางอันนอกเจริญขึ้น แพนหางอันในแยกจากแพนหางอย่างชัดเจน ส่วนกรีด้านบนมีฟัน 2 ซี่ มีขนาดประมาณ 2.50 มิลลิเมตร (ภาพที่ 11)



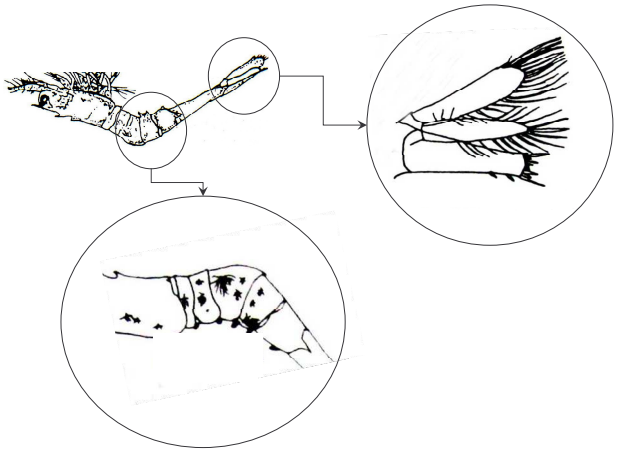
ภาพที่ 11 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 4
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.5 ระยะที่ 5 ลูกกุ้งในระยะนี้มีกรียาวเกือบถึงแนวหน้าสุดของตา โดยมีปลายเรียบ หางมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า แพนหางอันนอกขยายออกมีความยาวกว่าหางเล็กน้อย แพนหางอันในเจริญขึ้น และมีความยาวเท่ากับหาง ใต้ปล้องท้องเริ่มปรากฏเป็นฐานนูนซึ่งจะเจริญเป็นขาว่ายน้ำในระยะต่อไป มีขนาดประมาณ 2.84 มิลลิเมตร (ภาพที่ 12)



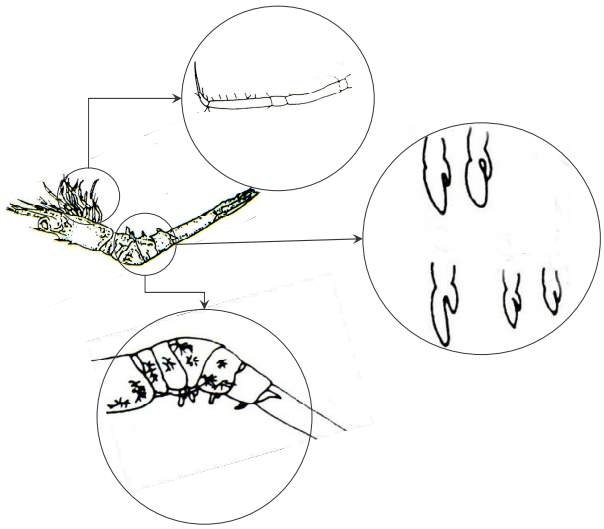
ภาพที่ 12 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 5
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.6 ระยะที่ 6 ลูกกุ้งมีหาง และแพนหางค่อนข้างยาว ปลายหางแคบ และเรียวขาว่ายน้ำเริ่มมีการเจริญโดยมีลักษณะปรากฏ เป็นปุ่มขาว่ายน้ำ มีขนาดประมาณ 3.75 มิลลิเมตร (ภาพที่ 13)



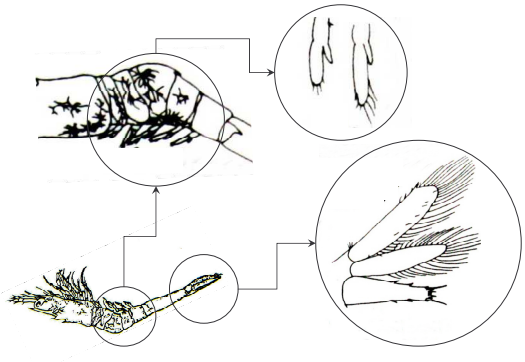
ภาพที่ 13 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 6
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.7 ระยะที่ 7 ขาเดินขยายตัวออก แพนหางอันใน และแพนหางอันนอกขยายตัวออก ส่วนปลายของขาว่ายน้ำเริ่มแยกเป็น 2 แฉก และไม่มีขนที่ขาว่ายน้ำ มีขนาดประมาณ 4.06 มิลลิเมตร (ภาพที่ 14)



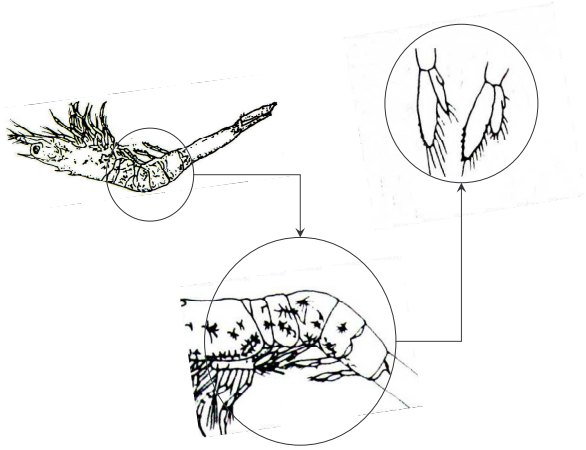
ภาพที่ 14 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 7
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.8 ระยะที่ 8 แพนหางอันใน และแพนหางอันนอกขยายตัวออก ส่วนปลายของขาว่ายน้ำเริ่มมีขนขึ้นที่แขนงอันนอก มีขนาดประมาณ 4.68 มิลลิเมตร (ภาพที่ 15)



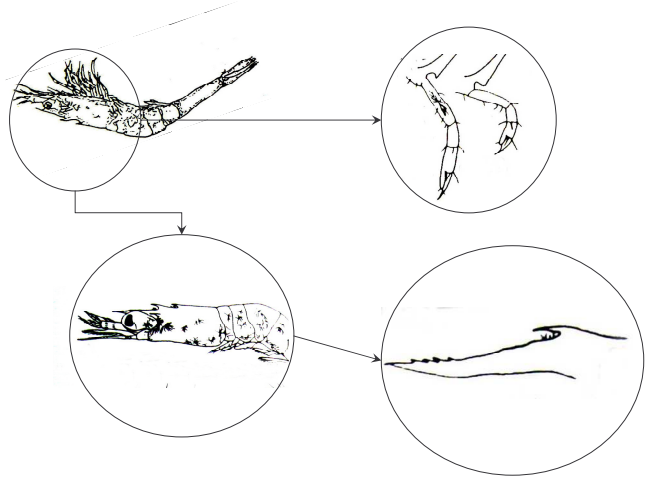
ภาพที่ 15 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 8
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.9 ระยะที่ 9 ส่วนปลายของขาว่ายน้ำมีขนขึ้น ที่แขนงอันนอก และที่แขนงอันใน โดยที่แขนงอันในเริ่มปรากฏมีติ่งเล็กๆ มีขนาดประมาณ 6.07 มิลลิเมตร (ภาพที่ 16)



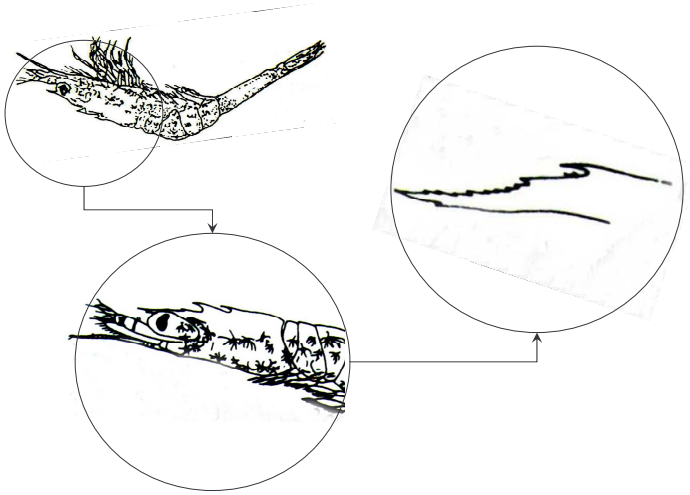
ภาพที่ 16 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 9
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.10 ระยะที่ 10 ปลายกรีด้านบนมีฟัน 3-4 ซี่ ขาเดินคู่ที่ 1 และ 2 เจริญมาก และมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะส่วนปลายเป็นก้าม มีขนาดประมาณ 7.05 มิลลิเมตร (ภาพที่ 17)



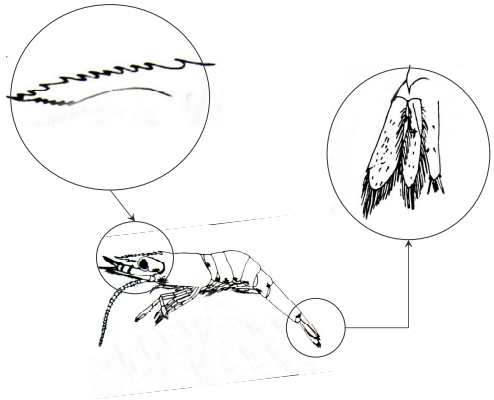
ภาพที่ 17 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 10
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.11 ระยะที่ 11 มีลักษณะคล้ายคลึงกับระยะที่ 10 แต่บริเวณกรีด้านบนมีฟันหลายซี่ มีขนาดประมาณ 7.73 มิลลิเมตร (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 11
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

3.5.12 ระยะที่ 12 ลูกกุ้งในระยะนี้มีการว่ายน้ำในท่าคว่ำ และว่ายไปข้างหน้า หรือเรียกว่า โพสลาวา (postlarva) กรีมีหนามทั้งด้านบน และด้านล่าง ลูกกุ้งในระยะนี้ จะมีลักษณะเหมือนพ่อแม่ทุกประการ (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 ลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะโพสลาวา
ที่มา: ยนต์ (2529); Jayachandran (2001)

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)

ส่วนการทดลองของ ธานี (2530) ซึ่งได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน ด้วยอาหารเสริม 3 ชนิด สมทบกับอาร์ทีเมีย และการให้อาร์ทีเมียอย่างเดียว โดยทำการอนุบาลลูกกุ้งในบ่อคอนกรีตขนาดความจุ 200 ลิตร โดยมีอัตราความหนาแน่นของลูกกุ้ง 100 ตัว/ลิตร และพบว่ามีอัตราการรอดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการรอด ของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยอาหารเสริม 3 ชนิดสมทบกับอาร์ทีเมีย และอาร์ทีเมียอย่างเดียว

อาหารที่ใช้อนุบาล	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)
ไข่ผสมเนื้อปลาโอบด+ อาร์ทีเมีย	87.25
ไข่เนื้อผสมหอยแมลงภู่บด+ อาร์ทีเมีย	72.93
ไข่ผสมนมผง S 26 +อาร์ทีเมีย	86.18
อาร์ทีเมีย	90.02

ที่มา: ธานี (2530)

ในการทดลองของ ยงยุทธ และ อำไพพรรณ (2547) ก็เป็นการทดลองที่พยายามจะหาแหล่งอาหารอื่นๆ เพื่อทดแทนการใช้อาร์ทีเมียเช่นกัน ในการทดลองนี้เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ในบ่อพลาสติกกลมขนาดความจุ 100 ลิตร โดยให้มีปริมาตรน้ำ 80 ลิตร และปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่น 100 ตัว/ลิตร โดยให้ไรน้ำกร่อย และตัวอ่อนอาร์ทีเมียเป็นอาหารในการอนุบาล ผลการทดลองนี้พบว่า ลูกกุ้งที่อนุบาลด้วยการให้ไรน้ำกร่อย (*Diaphanosoma aspinosum*) เป็นอาหาร มีอัตราการรอดต่ำกว่าลูกกุ้งที่ทำการอนุบาลด้วยอาร์ทีเมีย (Artemia) อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 อัตราการรอด ของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยไรน้ำกร่อย และอาร์ทีเมีย

อาหารที่ใช้อนุบาล	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)
ไรน้ำกร่อย	24.27
อาร์ทีเมีย	71.99

ที่มา: ยงยุทธ และ อำไพพรรณ (2547)

และการทดลองของ ธีรวัฒน์ และ จรีภรณ์ (2548) ซึ่งได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่มีอายุ 3 วัน โดยให้ อาร์ทีเมีย ไรแดงเสริมสารอาหาร และไรแดงเสริมสารอาหารสลับกับอาร์ทีเมีย

เป็นเวลา 10 วัน ผลการทดลองพบว่ามีอัตราการรอดไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยมีอัตราการรอดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราการรอด ของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยอาร์ทีเมีย ไรแดง (*Moina macrocopa*) เสริมสารอาหาร และไรแดงเสริมสารอาหารสลับกับอาร์ทีเมีย เป็นเวลา 10 วัน

อาหารที่ใช้อนุบาล	อัตราการรอด (%)
อาร์ทีเมีย	64.59
ไรแดงเสริมสารอาหาร	71.60
ไรแดงเสริมสารอาหารสลับกับอาร์ทีเมีย	66.02

ที่มา: ธีรวัฒน์ และ จรีภรณ์ (2548)

ในการศึกษาด้านชนิดของอาหารที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น ไม่เพียงแต่จะมีการศึกษาในอาหารมีชีวิตเท่านั้น อาหารสำเร็จรูปในรูปแบบ semi-purified microbound diet ก็มีการคิดค้นขึ้นมาเพื่อทดลองใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดย Kovalenko *et al.* (2002) ได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วย semi-purified microbound diet เปรียบเทียบกับการอนุบาลด้วยตัวอ่อนอาร์ทีเมียในน้ำที่มีความเค็ม 12 ส่วนในพัน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส และมีอัตราความหนาแน่น 50 ตัว/ ลิตร ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าลูกกุ้งมีอัตราการรอดไม่แตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่าในการให้อาหารในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น มีหลากหลายวิธี ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นหลัก หรือใช้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียร่วมกับอาหารเสริมชนิดอื่นๆ เช่น ไข่ตุ๋น ไข่ผสมปลา และไรแดง ที่เสริมด้วยสารอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากการการให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมีย เป็นอาหารจะทำให้มีอัตราการรอดตายของลูกกุ้งสูงกว่าอาหารชนิดอื่นๆ อีกทั้งตัวอ่อนของอาร์ทีเมียยังมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าอาหารชนิดอื่นๆ แต่ก็จะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นด้วย (ธีรวัฒน์ และ จรีภรณ์, 2548) ดังนั้นในบางรายงานจึงมีการให้อาหารชนิดอื่นเป็นหลักบ้าง เช่น การใช้ไรน้ำกร่อย ไรแดง ไรแดงเสริมด้วยสารอาหาร หรือการใช้ semi-purified microbound diet เป็นอาหารเพียงอย่างเดียว ซึ่งการเลือกใช้ชนิดของอาหาร สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อาหารชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ชนิดอาหาร	เอกสารอ้างอิง
อาร์ทีเมีย	ธานี, 2530 ; ยงยุทธ และ อำไพพรรณ, 2547 ; ธีรวัฒน์ และจรีภรณ์, 2548; Kovalenko *et al.,* 2002
อาร์ทีเมีย + ไข่ตุ๋น	ยนต์, 2529 ; ชลอ และ พรเลิศ , 2547
ไข่ผสมปลาโอบด + อาร์ทีเมีย	ธานี, 2530
ไข่ผสมหอยแมลภู่บด + อาร์ทีเมีย	ธานี, 2530
ไข่ผสมนมผง S 26 + อาร์ทีเมีย	ธานี, 2530
ไรน้ำกร่อย	ยงยุทธ และ อำไพพรรณ, 2547
ไรแดง	ธีรวัฒน์ และ จรีภรณ์ , 2548
ไรแดงเสริมสารอาหาร	ธีรวัฒน์ และ จรีภรณ์ , 2548
ไรแดงเสริมสารอาหาร สลับกับอาร์ทีเมีย	ธีรวัฒน์ และ จรีภรณ์ , 2548
semi-purified microbound diet	Kovalenko *et al.,* 2002

2. อัตราความหนาแน่นในการอนุบาล

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น อัตราความหนาแน่นของลูกกุ้งนับว่ามีความสำคัญต่ออัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามมาก ในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์นั้นนิยมที่จะอนุบาลลูกกุ้ง ในอัตราความหนาแน่น 50-100 ตัว/ลิตร เนื่องจากเป็นอัตราความหนาแน่นที่ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดตายสูง กว่าอัตราความหนาแน่นที่มากกว่า 100 ตัว/ลิตร

แต่การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามก็จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้น้ำเค็มในการอนุบาล ซึ่งในบางพื้นที่น้ำเค็มจะเป็นสิ่งที่หายาก และมีต้นทุนสูง จึงมีผู้ที่ศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งในระบบน้ำเค็มแบบปิดโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ หรือมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในปริมาณที่น้อยมาก จึงทำให้ต้องลดอัตราความหนาแน่นในการอนุบาลลูกกุ้งลงมาเป็น 10-20 ตัว/ลิตร ซึ่งอัตราความหนาแน่น และระบบการไหลเวียนของน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อัตราความหนาแน่นในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

การไหลเวียนของน้ำ	ความหนาแน่น (ตัว/ลิตร)	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	เอกสารอ้างอิง
ระบบเปิด	60-100	ไม่ระบุ	Jayachandran, 2001
ระบบเปิด	50	73.3-77.3	Kovalenko *et al.,* 2002
ระบบเปิด	50	23.0-42.0	Thapa, 2002
ระบบเปิด	80-100	ไม่ระบุ	ชลอ และพรเลิศ, 2547
ระบบเปิด	50-60	ไม่ระบุ	ยนต์, 2529
ระบบเปิด	100	72.9-90.6	ธานี, 2530
ระบบเปิด	100	24.3-72.0	ยงยุทธ และอำไพพรรณ, 2547
ระบบเปิด	20	13.1-35.7	วรรณนัฑ และ คมน์, 2548
ระบบปิด	109	12.1-32.2	สุรังษี, 2550
ระบบปิด	20	15.9-18.7	Menasveta and Piyatiratitivorakul ,1980
เปลี่ยนน้ำ 12.5 % / 5 วัน	10	15.0	Tansakul ,1983

3. ความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

จากรายงานของ Ling and Merican (1961) ซึ่งได้รายงานว่า แม่กุ้งก้ามกรามในธรรมชาติจะมีความชุกชุมมากในบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นบริเวณน้ำกร่อย ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้เป็นบริเวณที่ยังคงได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และเมื่อนำลูกกุ้งวัยอ่อนมาทำการศึกษาการอนุบาลในตู้ทดลอง พบว่า ตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามนั้น ภายหลังจากที่ฟักออกมาจากไข่แล้ว จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้เกิน 4 วันถ้าหากอนุบาลอยู่ในน้ำจืด ทั้งนี้เนื่องจากลูกกุ้งไม่สามารถที่จะลอกคราบ เพื่อให้มีพัฒนาการในระยะต่อไปได้ แต่ถ้าหากทำการอนุบาลตัวอ่อนในน้ำจืดที่ผสมด้วยน้ำเค็มในอัตราส่วน 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ก็จะทำให้ตัวอ่อนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และมีพัฒนาการในระยะต่อไป โดยสามารถลอกคราบได้ทุกๆ 2 วันในช่วง 10 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นความถี่ของการลอกคราบก็จะลดลง จากรายงานฉบับนี้ทำให้ทราบว่าความเค็มของน้ำที่ใช้ในการ

อนุบาลตัวอ่อนกุ้งก้ามกรามนั้น มีความจำเป็นต่อการอยู่รอด และพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม และผลจากการศึกษาในครั้งนั้น ก็ทำให้การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนมีพัฒนาการถึงระยะคว่ำ หรือ ระยะโพสลาวา (post larva) ประสบผลสำเร็จในเวลาต่อมา

จากนั้นก็ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามอีกหลายๆ การศึกษาโดยที่ในประเทศไทยนั้น ไพโรจน์ และ ทรงชัย (2513) ได้รายงานการศึกษาว่า กุ้งก้ามกรามในธรรมชาตินั้น จะมีการผสมพันธุ์จนมีไข่ติดที่หน้าท้องแล้วก็จะอพยพไปสู่แหล่งน้ำในบริเวณที่มีความเค็มต่ำๆ ประมาณ 3-6 ส่วนในพัน ซึ่งเป็นดังกล่าวเป็นบริเวณที่มักจะจับแม่พันธุ์ที่มีไข่ติดหน้าท้องได้ในธรรมชาติ โดยมีปริมาณที่จับได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกันกับรายงานของ Ling and Merican (1961) อย่างยิ่ง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ระดับความเค็มในช่วงต่างๆ 3 ช่วง คือ 5-7 , 8-10 และ 12-14 ส่วนในพัน จากการศึกษาพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอบุบาลในน้ำเค็ม 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 7

ตารางที่ 7 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

4. คุณภาพน้ำที่ใช้ในการอนุบาล

ในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามนั้นควรที่จะมีเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจคุณภาพของน้ำ เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการเพาะและอนุบาลกุ้งก้ามกรามนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าลูกกุ้งที่ทำการอนุบาลอยู่นั้นมีสุขภาพดีหรือไม่ และสามารถประเมินสถานการณ์ในการอนุบาลได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการได้ คุณสมบัติของน้ำที่ควรให้ความสำคัญ ได้แก่

4.1 ออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เป็นคุณสมบัติของน้ำที่สำคัญเป็นอย่างมาก สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำทุกชนิดต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ ปริมาณออกซิเจนละลาย

น้ำที่เหมาะสมในการใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น โดยทั่วไปแล้วไม่ควรมีความเข้มข้นต่ำกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งได้มีการรายงานไว้แตกต่างกันบ้างดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	เอกสารอ้างอิง
$\leq$ 4.0	ชลอ และ พรเลิศ, 2547
$\leq$ 5.0	มั่นสิน, 2538
5.0-7.0	Arrignon *et al.,* 1994
$\leq$ 5.0	Jayachandran, 2001
$\leq$ 4.5	Lee and Wickin, 1992

4.2 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)

ระดับที่เหมะสมของ pH ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น มีความสำคัญต่อการสร้างเปลือกของกุ้งก้ามกรามอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากถ้าหาก pH ของน้ำสูงเกิน 8.5 กุ้งจะไม่ลอกคราบ นอกจากนี้หากระดับ pH ของน้ำสูงมากๆ ก็จะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียมากขึ้นด้วย จากการศึกษาจากเอกสารพบว่าระดับ pH ที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้นควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง 7.5-8.5 (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

pH	เอกสารอ้างอิง
7.8-8.5	ชลอ และ พรเลิศ, 2547
6.5-8.5	มั่นสิน, 2538
7.0-8.5	ยนต์, 2529
7.0-8.5	Arrignon *et al.,* 1994
7.0-8.5	Jayachandran, 2001
6.5-8.5	Lee and Wickin, 1992

ตารางที่ 9 (ต่อ)

pH	เอกสารอ้างอิง
7.0-8.5	New, 1988
7.0-8.5	Sandifer and Smith, 1985

อย่างไรก็ตามในบางรายงานกลับมีผลการศึกษาขัดแย้งกันกับรายงานที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตัวอย่างเช่นการศึกษาของ Law *et al.,* (2002) ซึ่งได้รายงานว่า ไข่ของกุ้งก้ามกรามมีความไวต่อ H^+ อิออนมาก จากผลการศึกษาที่ได้ทำการฟักไข่กุ้งก้ามกราม ที่ได้รับการผสมกับน้ำเชื้อเพศผู้แล้วในน้ำที่มีความเค็ม 12 ส่วนในพัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับ pH ต่างกัน พบว่ามีอัตราการฟักสูงสุด ที่ pH 7.0 โดยมีอัตราการฟักถึง 92.22 $\pm$ 1.72 % ส่วนอัตราการฟักที่ pH 6.5 และ 7.5 มีเพียง 5.00 $\pm$ 3.5 % และ 13.33 $\pm$ 2.98 % ตามลำดับ ในขณะที่ pH 5.0 8.0 9.0 และ 10.0 ไม่พบว่า มีไข่ฟักเป็นตัวเลย

4.3 อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการอนุบาลลูกกุ้ง ทั้งนี้เนื่องจากกุ้งเป็นสัตว์ที่มีระดับ metabolism แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้นหากน้ำที่ใช้ในการอนุบาลมีอุณหภูมิต่ำเกินไป กุ้งก็จะไม่กินอาหารทำให้มีการเจริญเติบโต และการลอกคราบช้า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้นมีการรายงานว่า มีช่วงอุณหภูมิต่ำสุด-อุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วง 26-30 , 26-31 ม 28-31 และ 29-31 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิที่กล่าวมานั้นโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 26-31 องศาเซลเซียส ซึ่งในแต่ละรายงานจะมีความแตกต่างกันบ้างดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เอกสารอ้างอิง
26-31	ยนต์, 2529
29-31	Arrignon *et al.,* 1994
26-30	Hanson and Goodwin, 1977

ตารางที่ 10 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ผู้ทดลอง
28-31	Jayachandran, 2001
26-30	Lee and Wickin, 1992
26-31	New, 1988
28-31	New and Valenti, 2000
26-31	Sandifer and Smith, 1985

4.4 ปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น ลูกกุ้งจะขับถ่ายของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบแอมโมเนียอิสระนั้น เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำ หากมีปริมาณแอมโมเนียอิสระในน้ำมากเกินไป ก็จะทำให้ลูกกุ้งขับถ่ายของเสียในรูปแอมโมเนียได้ลดลง ทำให้มีระดับแอมโมเนียสะสมในเลือดสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่า pH ของเลือดสูงขึ้น ความต้องการออกซิเจนมากขึ้น และทำให้ความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจนของเลือดลดลง เมื่อแอมโมเนียที่ละลายอยู่ในน้ำถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไนไตรท์โดยกระบวนการ nitrification ซึ่งเกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย ซึ่งไนไตรท์ก็เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเช่นกัน และปริมาณของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนไตรท์(มิลลิกรัม/ลิตร)	ผู้ทดลอง
<0.1 (แอมโมเนียอิสระ)	ไม่ระบุ	ยนต์, 2529
<0.5 (แอมโมเนียรวม)	<0.1	Correia *et al.,* 2000
<1.0 (แอมโมเนียอิสระ)	<0.25	Jayachandran, 2001
<0.1 (แอมโมเนียอิสระ)	<1.4 (NO_2-N)	Lee and Wickin, 1992
-	0.1	New, 1988

5. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด และระบบการลดการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ในการผลิตลูกกุ้งก้ามกราม ในภูมิภาคที่มีภูมิประเทศที่อยู่ห่างไกลจากชายฝั่งทะเล ทำให้ต้องมีการขนส่งน้ำเค็ม เพื่อนำไปใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้น้ำทะเลเทียมที่เตรียมมาจากผงเกลือสำเร็จรูปในการอนุบาลลูกกุ้งก็ยังมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งน้ำที่ถูกเปลี่ยนถ่ายออกไปนี้เป็นน้ำเค็ม จึงทำให้มีปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีผู้คิดอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดหรือระบบที่มีการลดปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำเค็ม ซึ่งนอกจากจะลดปริมาณในการใช้น้ำเค็มซึ่งมีต้นทุนสูงได้แล้วก็ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาให้กับสภาพแวดล้อมอีกด้วย เช่น การศึกษาของ Menasveta and Piyatiratitivorakul (1980) ที่ได้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดที่มีการกรองด้วยชั้นทราย (sub-sand filter closed recirculating system) โดยมีอัตราความหนาแน่นในการอนุบาล 20 ตัว/ลิตร และได้ผลผลิตลูกกุ้งในระยะโพสลาวาในอัตราการรอด 15.9-18.7 เปอร์เซ็นต์ หรือรายงานของ Tansakul (1983) ซึ่งทำการทดลองอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำที่มีความเค็ม 12 ส่วนในพัน โดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วนในอัตราร้อยละ 12.5 ทุกๆ 5 วัน การทดลองนี้ผู้ทดลองได้ทำการอนุบาลลูกกุ้ง ด้วยอัตราความหนาแน่นของลูกกุ้ง 10 ตัว/ลิตร และได้ผลผลิตลูกกุ้งในระยะโพสลาวา ที่อัตราการรอดตาย 15 เปอร์เซ็นต์ หรือแม้กระทั่งรายงานของ Ang (1996) ซึ่งได้ผลอัตราการรอดของลูกกุ้งในระยะโพสลาวา 17-50 ตัว/ลิตรในน้ำที่มีระบบไหลเวียนแบบปิด และรายงานของ กระสินธุ์ (2549) ก็ได้ระบุไว้ชัดอย่างเจนว่า การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำเค็มในระบบปิด จะได้ผลผลิตลูกกุ้งที่มีอัตราการรอดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดปริมาณการใช้น้ำเค็มลงได้ถึง 6 เท่า ดังนั้นการใช้น้ำเค็มที่มีระบบการไหลเวียนแบบวงจรปิด จึงเป็นทางเลือกสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลชายฝั่งทะเล เนื่องจากเป็นระบบการอนุบาลที่ใช้น้ำเค็มในปริมาณน้อยกว่าระบบเปิด ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (New, 1988; Valenti and Daniels, 2000)

ผลของความเค็ม และแร่ธาตุ ต่อการปรับตัวของครัสตาเชียน

ในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเชิงพาณิชย์นั้น เกษตรกรมักจะนำแม่กุ้งในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องสีส้มมาเลี้ยง เพื่อทำการบ่มไข่จนมีไข่แก่เป็นสีเทาในน้ำที่มีความเค็ม 3-5 ส่วนในพัน จากนั้นจึงนำแม่กุ้งไปเลี้ยงต่อที่ความเค็ม 12 ส่วนในพัน โดยที่แม่กุ้งไม่มีอาการผิดปกติใดๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพบว่า ในการปฏิบัติของโรงเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเชิงพาณิชย์หลายๆ แห่งในประเทศนั้นก็นิยม

เลี้ยงแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามที่มีไข่ติดหน้าท้องสีส้มไว้ในน้ำที่มีความเค็มต่ำๆประมาณ 3-5 ส่วนในพัน เพื่อกระตุ้นพัฒนาการของตัวอ่อนเช่นกัน (New and Singholka, 1995)

เมื่อความเค็มของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง กุ้งก้ามกรามก็จะมีการตอบสนองต่อความเค็ม โดยที่ค่าออสโมลาลิตี้ (osmolality) ของเลือดกุ้ง (hemolymph) ก็จะเพิ่มขึ้นตามความเค็มที่สูงขึ้นไปด้วย ตัวอย่าง เช่น ในการทดลองของ Wilder *et al.* (1998) ซึ่งทำการทดลองโดยใช้กุ้งก้ามกรามเพศผู้ที่น้ำหนักประมาณ 24.9 $\pm$ 1.36 กรัม ระยะการลอกคราบ C นำมาปรับตัวในน้ำจืด ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ แล้วจึงย้ายไปเลี้ยงต่อในน้ำที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมในเลือด (hemolymph) จะแปรผันโดยตรงกับค่าออสโมลาลิตี้ และ ความเค็ม โดยที่อัตราส่วนน้ำจืดผสมน้ำทะเล2/3 ส่วน (18-20 ส่วนในพัน) ค่าออสโมลาลิตี้ ของน้ำที่ใช้เลี้ยง และในเลือดจะมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 12) ซึ่งก็สอดคล้องกับรายงานของ Singh (1980) ที่ได้รายงานว่ากุ้งก้ามกรามมีค่า isosmotic point อยู่ที่ความเค็ม 17.5 ส่วนในพัน ส่วนความเข้มข้นของ โพแทสเซียม และ แมกนีเซียม ในเลือด จะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อกุ้งอยู่ในน้ำที่มีอัตราส่วนน้ำจืดผสมกับน้ำทะเลมากกว่า 2/3ส่วนขึ้นไป ส่วนความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือด พบว่า จะไม่เปลี่ยนแปลงในทุกความเค็ม (ภาพที่ 20)

เมื่อกุ้งก้ามกรามมีการเจริญเติบโตจนเป็นกุ้งที่โตเต็มวัยแล้วนั้น Houng *et al.* (2001) ได้รายงานว่า กุ้งก้ามกรามโตเต็มวัยในระยะเปลือกแข็ง ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 16.9 $\pm$ 0.45 กรัม ที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำ (น้ำจืด และ น้ำจืดผสมน้ำทะเล 1/3) จะมีระดับของกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) ในเลือดไม่แตกต่างกัน แต่ในน้ำที่มีความเค็มสูง (น้ำจืดผสมน้ำทะเล 2/3 และน้ำทะเล) จะมีระดับของกรดอะมิโนอิสระในเลือด เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และพบว่า กรดอะมิโนอิสระชนิดที่มีมากที่สุด คือ อะลานีน (alanine)

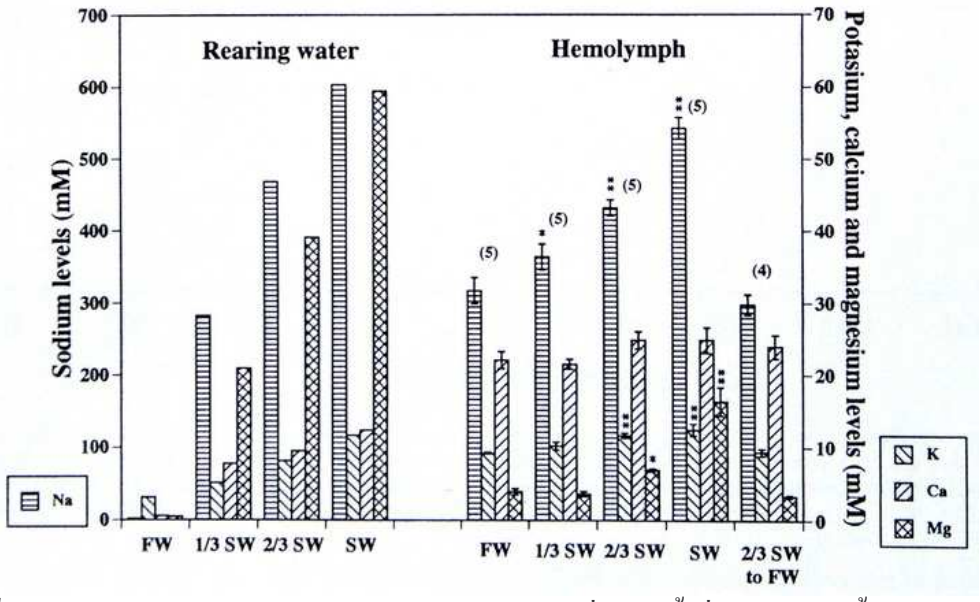
ตารางที่ 12 ค่าออสโมลาลิตี้ของของน้ำ และเลือดของกุ้งก้ามกรามขนาด 24.9 $\pm$ 1.36 กรัมที่เลี้ยงใน น้ำที่มีอัตราส่วนน้ำจืดและน้ำทะเลต่างกัน

อัตราส่วนน้ำจืด : น้ำทะเล	น้ำที่ใช้เลี้ยง (มิลลิออสโมล/กิโลกรัม)	เลือด (มิลลิออสโมล/กิโลกรัม)
น้ำจืด	8	430[a]
น้ำจืดผสมน้ำทะเล1/3 ส่วน	290	470[a]

ตารางที่ 12 (ต่อ)

อัตราส่วนน้ำจืด : น้ำทะเล	น้ำที่ใช้เลี้ยง (มิลลิออสโมล/กิโลกรัม)	เลือด (มิลลิออสโมล/กิโลกรัม)
น้ำจืดผสมน้ำทะเล2/3 ส่วน	650	640[b]
น้ำทะเล	950	820[c]
น้ำจืดผสมน้ำทะเล2/3 ส่วน แล้วนำกลับไปเลี้ยงในน้ำจืด	8	480[a]

ที่มา: Wilder *et al.* (1998)



ภาพที่ 20 ความเข้มข้นของ Na K Ca และ Mg ในเลือดกุ้งที่อยู่ในน้ำที่มีอัตราส่วนน้ำทะเล ต่อน้ำจืดต่างกัน

ที่มา : Wilder *et al.* (1998)

ผลของความเค็ม และแร่ธาตุในน้ำต่อพัฒนาการของตัวอ่อนและการฟักไข่

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า การเลี้ยงแม่พันธุ์ที่มีไข่สีส้มไว้ในน้ำที่มีความเค็มต่ำๆ นั้น เป็นที่นิยม เพราะเชื่อว่าเป็นการทำเพื่อกระตุ้นพัฒนาการของตัวอ่อน ทำให้มีอัตราการฟักที่ดีขึ้น ซึ่ง Damrongphol *et al.* (1991) ก็ได้ทดลองทำการเพาะไข่กุ้งก้ามกรามซึ่งเขี่ยออกมาจากแม่กุ้ง

ในน้ำจืด (Deionized water) พบว่าตัวอ่อนไม่สามารถมีพัฒนาการ และฟักเป็นตัวได้ ในขณะที่ไข่กุ้งที่ทำการเพาะฟักในน้ำจืดที่ผสมกับน้ำทะเลเทียมในอัตรา 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าตัวอ่อนสามารถมีพัฒนาการและฟักออกมาเป็นตัวได้ แต่ถ้าหากผสมน้ำทะเลเทียมมากเกินไปในอัตรา 45 เปอร์เซ็นต์ก็ พบว่า ตัวอ่อนไม่สามารถที่จะมีพัฒนาการ และฟักเป็นตัวได้เช่นกัน ซึ่งต่อมา Damrongphol *et al.* (2001) ก็ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม พบว่า ตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในความเข้มข้นของ NaCl ที่ 169.2 มิลลิโมล/ลิตร และ KCl ที่ 3.6 มิลลิโมล/ลิตร มีพัฒนาการดีที่สุด และยังได้รายงานว่า ตัวอ่อนในระยะแรกๆนั้นต้องการ NaCl KCl และ $MgCl_2 + MgSO_4$

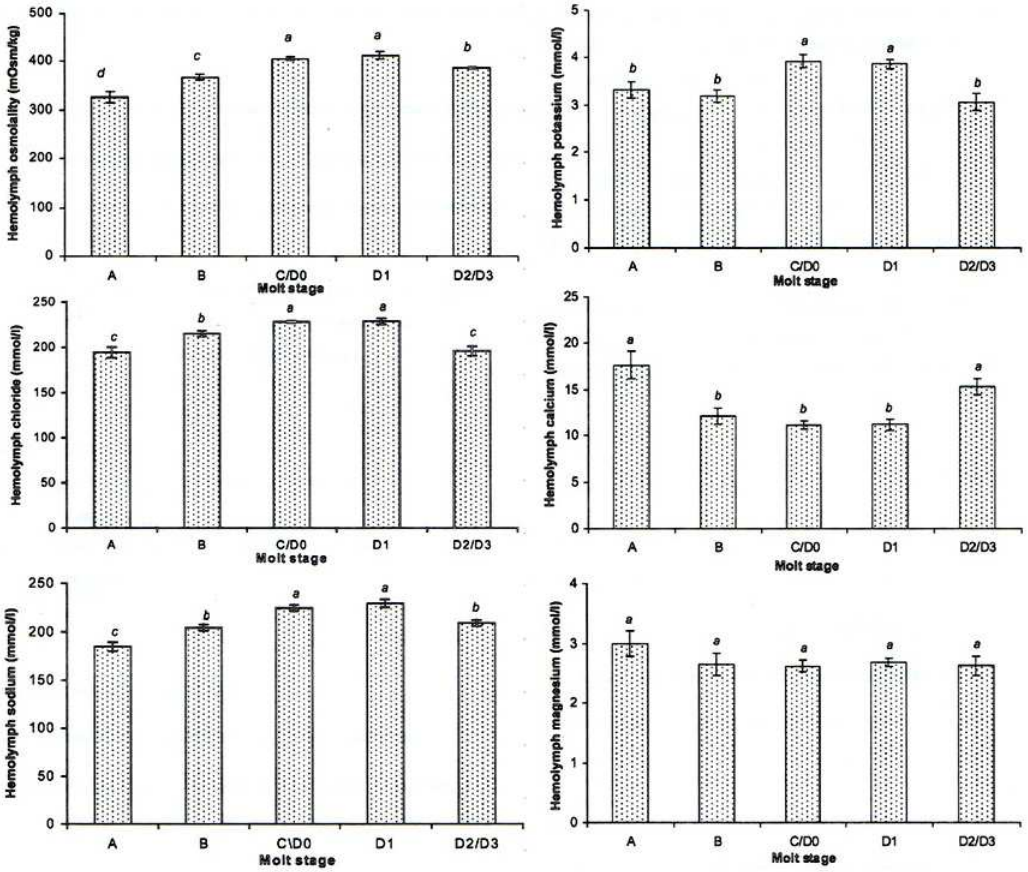
จะเห็นได้ว่าความเค็มของน้ำ และปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดในน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อพัฒนาการของไข่ในระยะคัพภะ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ New (1990) ได้ระบุว่าแม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้องที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน จะมีอัตราการฟักไข่สูงขึ้น

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 ค่าอัตราส่วนของอ๊อกซี่ฮีโมไซยานินต่อโปรตีน ที่มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกระยะลอกคราบ แต่จะมีค่าของอ๊อกซี่ฮีโมไซยานินและค่าโปรตีนในเลือด (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 (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 ค่าออสโมลาลิตี้ ความเข้มข้นของ คลอไรด์ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในเลือดของกุ้งก้ามกราม (*M. rosenbergii*) ในระยะโตเต็มวัย (adult) ในแต่ละระยะการลอกคราบ

ที่มา: Cheng *et al.* (2001)

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 ครัสตาเชียนเมื่อย้ายจากน้ำความเค็มสูงไปสู่น้ำความเค็มต่ำจะทำให้ค่า pH ของเลือดมีค่าสูงขึ้น (metabolic alkalosis) เนื่องจากเมื่อความเค็มน้ำต่ำลง ทำให้ค่า 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 และแม้ว่าแคลเซียมบางส่วนจะมีการสะสมไว้ในเลือดและต่อมในลำไส้ตอนกลาง (midgut gland) ของสัตว์ก่อนที่จะลอกคราบอยู่ก่อนแล้ว แต่แคลเซียมส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำให้เปลือกแข็งขึ้นก็ได้รับมาจากน้ำทะเลภายนอก (Travis, 1955; Price Sheets and Dendinger, 1983)

หลังจากที่แคลเซียมเคลื่อนย้าย และมีการสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ในระบบเลือดก็อาจจะทำให้เกิดความเป็นพิษสำหรับปูทะเลได้ ถ้ามีแคลเซียมปริมาณมากเกินไป ดังนั้นสัตว์จึงต้องพยายามขับ

แคลเซียมออกจากเลือดไปสู่อวัยวะอื่นๆ 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) ของครัสตาเชียนที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำ หรืออยู่ในระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย และระยะหลังลอกคราบ (Henry and Kormanik, 1985) เพราะว่าเอนไซม์นี้ มีบทบาทสำคัญ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมและการใช้แคลเซียมเพื่อการสร้างเปลือก ดังจะเห็นได้จากการที่เลือดปูทะเลที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำจะมีปริมาณแคลเซียมในเลือดต่ำ ก็อาจจะมีสาเหตุจากการที่น้ำภายนอกมีความเค็มต่ำจะทำให้ระดับ pH ในเลือดสูงขึ้น และผลที่ตามมา คือ แร่ธาตุที่มีประจุลบ และบวกจะมีโอกาสจับตัวกันและเกิดการตกตะกอน (precipitation) ได้มากขึ้น ซึ่งเป็นการรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบ เพื่อทำการสร้างเปลือกใหม่ เนื่องจากเป็นช่วงที่ปูเข้าสู่ระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (premolt ในระยะ D_1) ปัจจัยดังกล่าวเป็น การเอื้ออำนวยต่อการสร้างเปลือกใหม่ เพราะการสร้างเปลือกของครัสตาเชียนโดยทั่วไปแล้ว จะเป็นไปได้ดีในสภาวะที่ของเหลวในร่างกาย โดยเฉพาะเลือดที่มีสภาวะเป็นด่าง

เล็กน้อย 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 และ

โพแทสเซียม เป็นองค์ประกอบรองลงมา (Pratoomchat *et al.,* 2002a) นอกจากนี้แล้ว แมกนีเซียม ยังมีหน้าที่เกี่ยวของกับ 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 ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของธาตุโซเดียม 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 ค่าออสโมติกและไอออนต่างๆระหว่างเลือดกับน้ำทะเลจะมีค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้น 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)

โครงสร้างและองค์ประกอบของเปลือก (cuticle) และระยะการลอกคราบ

1. องค์ประกอบของเปลือก

จากการศึกษาในขั้นต้นจากเอกสารพบว่า โครงสร้างของเปลือกกุ้งประกอบด้วยชั้นต่างๆ 4 ชั้น คล้ายคลึงกับสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียนทั่วไป โดยมีการเรียงลำดับจากชั้นที่อยู่ด้านนอกสุดไปยังชั้นที่อยู่ในสุด ดังนี้

1.1 ชั้นอิพิคิวติเคิล (Epicuticle layer)

ชั้นอิพิคิวติเคิล เป็นชั้นที่อยู่นอกสุด และเป็นชั้นที่บางที่สุด มีความหนาประมาณ 5 ไมครอน (Pratoomchat *et al.,* 2002b) มีองค์ประกอบเป็นสารพวก lipoprotien ร่วมกับเกลือแคลเซียม ชั้นอิพิคิวติเคิลนี้จะประกอบกันเป็นชั้นๆ อย่างชัดเจน (Travis, 1955; Green and Neff, 1972; Arsenault *et al.,* 1984; Compere and Goffinet, 1987) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบเป็นโครงสร้างของสารอินทรีย์ ซึ่งติดสีย้อม eosin อย่างหนาแน่น ซึ่งแสดงถึงการมี NaOH-protein และไคติน (Vigh and Dendinger, 1982; Pratoomchat *et al.,* 2002b)

1.2 ชั้นเอกโซคิวติเคิล (Exocuticle layer หรือ Pigmented layer)

ชั้นเอกโซคิวติเคิล เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากชั้นอิพิคิวติเคิล ประกอบด้วย HCl-protein (Vigh and Dendinger, 1982; Pratoomchat *et al.,* 2002a) ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 60 ไมครอน และมีสีเข้ม นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบเป็นเส้นใย chitin-protein เป็นจำนวนมาก (Travis, 1955; Green and Neff, 1972; Pratoomchat *et al.,* 2002b) ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่มีปริมาณเม็ดสี (pigments) สูงที่สุด

1.3 ชั้นเอนโดคิวติเคิล (Endocuticle layer)

ชั้นเอนโดคิวติเคิล เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด ประมาณ 450-455 ไมครอน ซึ่งคิดเป็น 70-85 เปอร์เซ็นต์ของความหนาของเปลือก และมีปริมาณเกลือแคลเซียมสะสมอยู่มากที่สุด บางครั้งจึงเรียกว่า เป็นชั้นแคลเซียม (calcified layer) ซึ่งมีลักษณะเป็นแถบ (bands) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างเส้นใย chitin-protein และแคลเซียมคาร์บอเนต ประกอบกันทำให้เป็นชั้นที่หนาที่สุด (Pratoomchat *et al.,* 2002a)

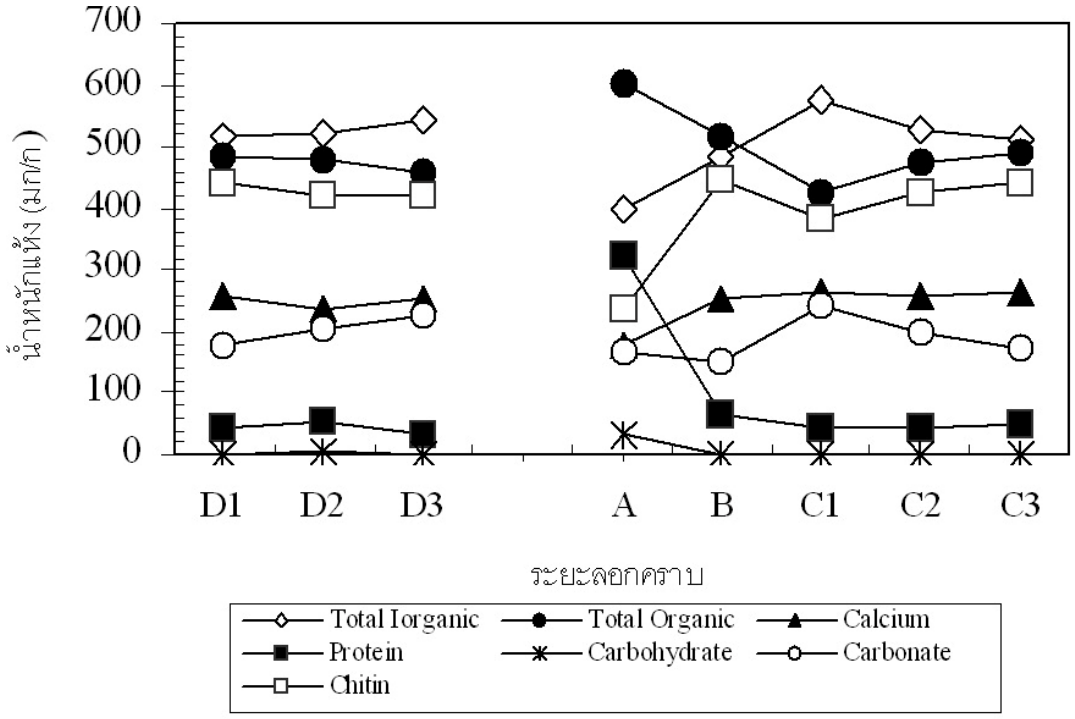
1.4 ชั้นเมมบรานาส (Membranous layer หรือ uncalcified layer)

ชั้นเมมบรานาส เป็นชั้นที่อยู่ในสุดของเปลือก อยู่ติดกับชั้นอิพิเดอมิส มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ มีความหนาประมาณ 5 ไมครอน และเป็นโครงสร้างที่ย้อมติดสี eosin (Pratoomchat *et al.,* 2002b) ประกอบด้วยไคตินประมาณ 74 เปอร์เซ็นต์ (Welinder, 1975) ในชั้นนี้ไม่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ จึงถูกเรียกว่า uncalcified layer

2. องค์ประกอบทางเคมีของเปลือก

โครงสร้างของเปลือกกุ้ง หรือปู ประกอบด้วยเส้นใยของ chitin-protein เป็นส่วนใหญ่ (Glynn, 1968) กับส่วนของโปรตีนในชั้น epicuticle และส่วนของไคตินในชั้น exocuticle และ endocuticle (Travis, 1965; Vigh and Dendinger, 1982; Roer and Dillaman, 1984) ซึ่งสารตั้งต้นของไคติน คือ คาร์โบไฮเดรต (Knowles and Carlisle, 1956)

สารประกอบอินทรีย์ ที่สำคัญของเปลือกตลอดวงจรการลอกคราบ คือ ไคติน อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบกลุ่มโปรตีน จะเพิ่มสูงช่วงหลังลอกคราบ ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรง ในการสร้างชั้น epicuticle และ exocuticle หลังจากมีการลอกคราบใหม่ๆ ซึ่ง NaOH-protein มีความสำคัญต่อsclerotization และ HCl-protein สำหรับช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างเปลือก โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบของเปลือกสัตว์ครัสเตเชียน ปู และกุ้ง จะมีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบหลัก และมีแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบรองลงมา มีไคตินเป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ โดยมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบรองลงมา (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 องค์ประกอบหลักของเปลือกปูทะเล (*Scylla serrata*) ในรอบวงจรการลอกคราบ
ที่มา: Pratoomchat *et al.* (2002a)

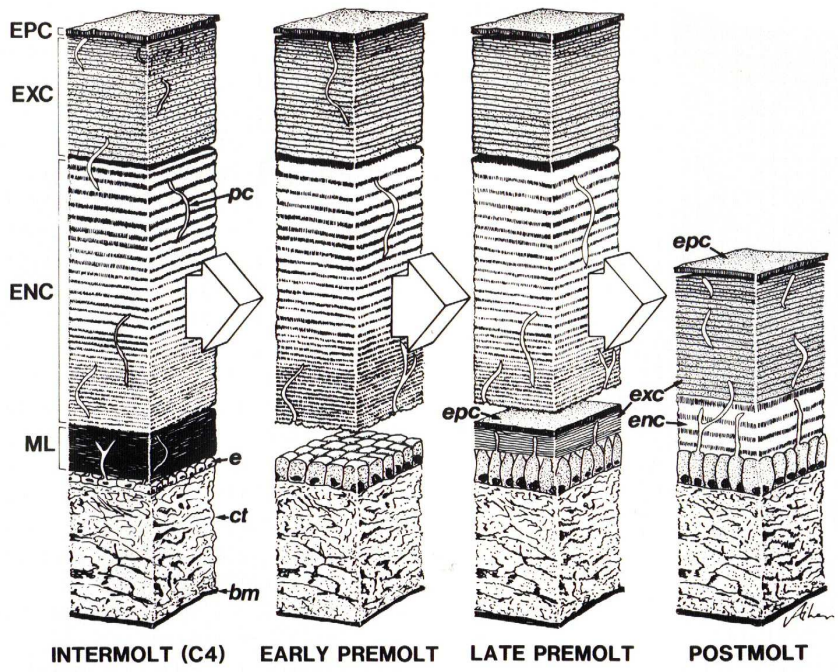
3. โครงสร้างและองค์ประกอบเนื้อเยื่อชั้นอิพิเดอมิส (epidermis)

3.1 โครงสร้างของเนื้อเยื่อชั้นอิพิเดอมิส

ภายใต้เนื้อเยื่อชั้นในสุดของเปลือกของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียนนั้น จะพบเนื้อเยื่อชั้นอิพิเดอมิส เรียงตัวอยู่เป็นชั้นบางๆ โดยที่มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อเซลล์ชั้นเดียว (unicellular layer)

ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โครงสร้างของอิพิเดอมิสจะปกคลุมด้วยโครงร่างแข็ง ได้แก่ (cuticle) ของครัสเตเชียน และเปลือก (shell) ในสัตว์ที่อยู่ในกลุ่มหอย (mollusks) นอกจากนี้อิพิเดอมิสยังเป็นอวัยวะสำคัญ ในการหลั่งสารประกอบอินทรีย์ และแร่ธาตุพร้อมทั้งขนส่งไปสร้างเปลือก (Roer and Dillaman, 1984 ; Cameron, 1985; Machado *et al.,* 1990; Ziegler, 1997; Pratoomchat *et al.,* 2002a)

ในวงจรการลอกคราบของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียน โดยทั่วไปแล้วแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ตามวิธีของ Drach (1939) ดังนี้ คือ ระยะ A (ระยะหลังลอกคราบตอนต้น หรือระยะ post molt, immediately post molt) ซึ่งเป็นระยะที่เพิ่งลอกคราบเสร็จมีเปลือกนุ่ม ระยะ B (ระยะหลังลอกคราบ หรือระยะ late post molt) ซึ่งเป็นระยะที่กระดองเริ่มแข็ง ระยะ C (ระยะคราบแข็ง หรือระยะ intermolt) ซึ่งเป็นระยะที่มีการสะสมอาหารเพื่อเตรียมการลอกคราบในครั้งต่อไป ระยะ D (ระยะก่อนลอกคราบ หรือระยะ premolt) ซึ่งเป็นระยะก่อนการลอกคราบ (ภาพที่ 23) และระยะ E (ระยะระหว่างลอกคราบ หรือระยะ molting) ซึ่งเป็นระยะที่กำลังลอกคราบ



ภาพที่ 23 โครงสร้างของเปลือกในแต่ละระยะการลอกคราบ
ที่มา: Aiken and Waddy (1978)

3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอิพิเดอมิส

ชั้นอิพิเดอมิส ประกอบไปด้วย ไกลโคเจน ไคติน เอซิด มิวโคโพลีแซคคาไรด์ (acid MPS) และ neutral MPS ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Pratoomchat *et al.* (2002a) ซึ่งพบว่า ชั้นของอิพิเดอมิสของปูม้า ประกอบด้วยสารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไคติน และแร่ธาตุต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ทองแดง แคลเซียม โซเดียม คลอรีน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมงกานีส และ ซัลเฟอร์ โดยปริมาณของโปรตีนจะเพิ่มมากที่สุด ที่ระยะเริ่มต้นของระยะคราบแข็ง (intermolt stage) ในขณะที่คาร์โบไฮเดรตจะลดลง เนื่องจากส่วนของคาร์โบไฮเดรตถูกนำไปใช้ในกระบวนการ polymerization ของโมเลกุลไคติน ซึ่งถูกนำไปใช้ในการสร้างเปลือก (Gwinn and Stevenson, 1973) โดยพบว่า ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่ลดลง มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของไคตินที่เพิ่มขึ้นในเปลือก และปริมาณไคตินจะลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในการสร้างเปลือกที่ระยะคราบแข็ง (intermolt stage)

ส่วนไกลโคสมิโนไกลแคน (Glycosaminoglycan, GAG) เกี่ยวข้องกับการสร้างเปลือกหลังจากกุ้ง หรือปูลอกคราบใหม่ เปลี่ยนจากสารประกอบดังกล่าว เป็นตัวช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการตกผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมคาร์บอเนต (Greenfield *et al.,* 1984; Pratoomchat *et al.,* 2002a) ซึ่ง Vigh and Dendinger (1982) พบว่า HCl-protein เป็นเหมือนปัจจัยจำกัดในการตกผลึกของแคลเซียม โดย NaOH-protein (sclerotin) มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสร้างความแข็งแรง (hardening process) ให้กับเปลือกช่วงหลังลอกคราบในระยะหลังลอกคราบ (postmolt) และระยะคราบแข็ง (intermolt)

ส่วนปริมาณของแร่ธาตุ แคลเซียม คลอรีน โพแทสเซียม และ ซัลเฟอร์ รวมถึงสารประกอบอินทรีย์ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนลอกคราบ (premolt ในระยะ D_2) เนื่องจากมีการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่ออิพิเดอมิสซึ่ง Mangum (1992) และ Mykles *et al.* (2000) ได้กล่าวว่าการสะสมของสารอินทรีย์นี้ เกี่ยวข้องกับการกำหนดปริมาตรของเซลล์ (cell volume) และการนำน้ำเข้าภายในเซลล์ (water uptake) ส่วน แร่ธาตุทองแดงจะเพิ่มขึ้น จากระยะหลังลอกคราบถึงระยะคราบแข็ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้น สำหรับการขนส่งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สำหรับการสร้างเปลือก (Mangum, 1983)

ระบบ Osmoregulation

ในสัตว์ครัสเตเชียนพวก euryhaline เช่นใน ปู *C. maenas* มีความสามารถทนต่อความเค็มน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ซึ่งสภาพนี้ เรียกว่า “hyperregulation” และ “hyporegulation” โดยที่ สัตว์เหล่านี้ มีความสามารถที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของเลือดให้คงที่ ในระหว่างที่สัตว์มีการปรับตัวต่อความเค็มน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป เซลล์จะมีการต้านต่อความเครียดที่เกิดจากออสโมซิส (osmotic stress) ซึ่งจะมีมากเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการควบคุมความเข้มข้นในเลือด (Gilles and Pequeux, 1981) ในการควบคุมระดับความเข้มข้นของเลือดภายในร่างกายกับน้ำภายนอกนั้นพบว่ามีอยู่ 2 รูปแบบ ดังนี้

1. Hyperregulation

เป็นการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำจืด หรือน้ำทะเล ที่มีความเจือจางกว่าความเข้มข้นในเลือดของมัน ซึ่งจะต้องเผชิญกับการแพร่เข้าของน้ำภายนอกร่างกาย และการสูญเสียอิออนออกไปสู่สิ่งแวดล้อม แต่ก็สามารถลดภาวะเหล่านี้ได้ โดยการลดการนำน้ำ และอิออนผ่านเข้าออกโดยการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่าน ให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งตามปกติแล้วสัตว์ในกลุ่ม osmoconformer จะมีการยอมให้สารผ่านเข้าออกได้มากกว่าสัตว์ในกลุ่ม osmoregulator และจะมีการเปลี่ยนแปลงการยอมให้สารผ่านเข้าออกน้อย เมื่อน้ำภายนอกมีความเค็มลดลง

ส่วนในกลุ่ม moderate regulator เช่น *C. maenas* แสดงให้เห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงการยอมให้สารผ่านเข้าออกน้อย และในพวก strong regulator เช่น *Palaemonetes* sp. พบว่า อัตราการสูญเสียเกลือแร่ผ่านทางพื้นผิวภายนอก จะลดลงเป็นเวลาสั้นๆ เมื่อนำไปอยู่ในน้ำความเค็มต่ำ ส่วนกลุ่ม hyperregulator จะลดการยอมให้น้ำผ่านเข้าออก เมื่อต้องเผชิญกับน้ำความเค็มต่ำ(Shaw, 1961; Mantel and Farmer, 1983)

2. Hyporegulation

เป็นการปรับตัวของสัตว์เมื่ออาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูง โดยที่สัตว์จะมีการปรับตัวโดยทำให้ของเหลวในร่างกาย มีความเข้มข้นต่ำกว่าภายนอก เพราะที่ระดับความเค็มน้ำสูงจะมีเกลือแร่แพร่เข้าสู่ร่างกายโดยมาพร้อม กับน้ำปริมาณที่มาก ดังนั้นในสภาวะเช่นนี้สัตว์จึงต้องมี

การปรับให้มีความเข้มข้นที่น้อยลงโดยการขับเกลือแร่ออก และมีรักษาน้ำไว้ให้ได้มากที่สุดซึ่งเป็นการยากที่จะวัดการยอมให้ผ่านของอิออนได้อย่างแม่นยำ เพราะมักจะมีการแลกเปลี่ยนองค์ประกอบของอิออนที่ไหลออกจากร่างกายอยู่ตลอดเวลา

3. การปรับตัวของสัตว์ต่อความเค็ม

ในสัตว์ที่มีความสามารถอย่างมาก ในการปรับระดับสมดุลเกลือแร่ภายในร่างกายจะแสดงภาวะ hyperosmotic เป็นการกระตุ้นการรับน้ำเข้าภายในตัว ซึ่งจะแพร่ผ่านเข้าสู่ลำไส้ และจะพยายามรักษาเกลือแร่ไว้ภายในตัวให้มากที่สุด เพื่อปรับสมดุลเกลือแร่ภายในร่างกาย เมื่อสภาวะสิ่งแวดล้อม มีความเข้มข้นเกลือแร่ต่ำกว่าภายในตัว (Passano, 1960) และในสัตว์ที่สามารถปรับสมดุลเกลือแร่ได้ไม่ดีนักจะมีค่าออสโมลาลิตี้ต่ำ ทำให้ระบบการแพร่ผ่านเข้าออกของแร่ธาตุต่างๆ ไม่ค่อยสมบูรณ์ ทำให้ต้องใช้พลังงานอย่างมากในการปรับสมดุล (Smith, 1976, Mykles, 1980) การปรับสมดุลจะเป็นตัวรักษาค่าความดันออสโมติกภายในร่างกาย ให้มีความสัมพันธ์กันอย่างคงที่กับสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งก็คือ การปรับระดับค่าความเข้มข้นภายในร่างกายให้มีค่าสูง หรือต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมภายนอกที่อาศัยอยู่ การปรับสมดุลดังกล่าว เพื่อให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เมื่อสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง จะพบได้ในสิ่งมีชีวิตพวกครัสเตเชียน ซึ่งมีรูปแบบการปรับสมดุลแตกต่างกันออกไปในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด

ตามที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ครัสเตเชียนเมื่อย้ายจากที่น้ำความเค็มสูงไปสู่ที่น้ำความเค็มต่ำจะทำให้ ค่า pH ของเลือดมีค่าสูงขึ้น (metabolic alkalosis) เนื่องจากเมื่อความเค็มน้ำต่ำลง ค่า pH ของน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงแบบแปรผันตรงกัน โดยจะมีค่า pH ต่ำลง คือ มีสภาพเป็นกรดมากขึ้น (มี H^+ มากขึ้น) และคาดว่าน่าจะมีผลทำให้เลือดมีสภาพเป็นกรดด้วย ซึ่งสภาพที่เป็นกรดนี้จะมีผลต่อการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากเปลือกเก่ามา ในรูปของแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) จึงทำให้มีปริมาณของแคลเซียมอิออน และไบคาร์บอเนตในเลือดสูงขึ้น (Machado *et al.,* 1988) เมื่อเลือดมีไบคาร์บอเนตสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้มีค่า pH สูงขึ้น (Henry and Cameron, 1982)

ในบางกรณีความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดสัตว์ที่เลี้ยง ในน้ำความเค็มน้ำสูงเกินระดับที่เหมาะสมของสัตว์ชนิดนั้น อาจจะมีค่าต่ำกว่าระดับความเค็มน้ำที่ต่ำกว่า หรือเหมาะสม อาจเนื่องมาจากสัตว์ที่อาศัยในน้ำความเค็มสูง แคลเซียมจากน้ำภายนอกมีโอกาสแพร่เข้าสู่ร่างกาย

ในปริมาณมากตามความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังพบในปู *C. sapidus*, กุ้ง *Metapenaeus* sp. (Travis, 1953; Dall, 1965; Price Sheets and Dendinger, 1983) แต่สัตว์จำเป็นต้องพยายามปรับสมดุลแคลเซียมไม่ให้สูงเกินไปในระบบเลือด เพื่อให้ร่างกายไม่ได้รับอันตรายจึงพยายามขับแคลเซียมออกจากร่างกาย

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 หรือน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับเตรียมน้ำทะเลเทียม 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 เพื่อป้องกัน

ไม่ให้ $MgCl_2$ 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 (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 เกลือที่ตกผลึกจากการระเหยของน้ำทะเลที่มีความเค็ม 35 ส่วนในพัน

ปริมาตร	น้ำหนักเกลือที่เกิดการตกผลึก (กรัม)						
(มิลลิลิตร)	$CaCO_3$	$CaSO_4.2H_2O$	NaCl	$MgCl_2.6H_2O$	$MgSO_4.7H_2O$	NaBr	KClและอื่นๆ
1,000							
533	0.0642						
190	0.0530	0.5600					
112		0.9070					
95		0.0508	3.2614	0.0040	0.0078		
64			9.6500	0.0130	0.0356		
39			7.8960	0.0262	0.0434	0.0728	
30.2			2.5240	0.0174	0.0150	0.0358	
23			2.2720	0.0254	0.0240	0.0518	
16.2			1.4040	0.5382	0.0274	0.0620	
รวม	0.1172	1.7498	27.1074	0.6242	0.1532	0.2224	
เกลือในน้ำขม			2.5885	1.8545	3.1640	0.3300	0.5339*
รวมทั้งสิ้น	0.1172	1.7498	29.6959	2.4787	3.3172	0.5524	0.5339*

ที่มา: อนันต์ และ สุพล (2552)

หมายเหตุ * KCl และธาตุอื่นๆ มีสถานะเป็นของเหลว

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 (มนุวดี, 2532; Garrison, 2006; Millero, 2006) ดังนั้นองค์ประกอบโดยปกติทั่วไปของน้ำทะเลจึงไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 องค์ประกอบของน้ำทะเลที่ความเค็ม 35 ส่วนในพัน

แร่ธาตุ	ปริมาณแร่ธาตุ (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 35 ส่วนในพัน			
	มนุวดี, 2532	ประดิษฐ์, 2540	Martin, 1972	Boyd, 1982
Cl	19.353	19.353	19.353	19.000
Na	10.762	10.760	10.760	10.500
SO_4	2.709		2.713	2.700
Mg	1.293	1.294	1.294	1.350
Ca	0.411		0.413	0.400
K	0.399	0.387	0.387	0.380
Br	0.0673	0.0673	0.0670	0.0650
Sr	0.0079		0.008	0.0080
B	0.00445	0.0046	0.0040	0.0046
F	0.00128		0.0010	0.0013

ที่มา: มนุวดี, 2532; ประดิษฐ์, 2540; Martin, 1972; Boyd, 1982

2. น้ำเค็มจากเกลือสินเธาว์ หรือเกลือหิน

การผลิตเกลือสินเธาว์นั้น มีแหล่งที่มาจากการผลิต 3 แหล่ง คือ เกลือสินเธาว์ ที่ผลิตจากคราบเกลือจากผิวดิน 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 (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ปริมาณแร่ธาตุ (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเกลือสินเธาว์จากแหล่งที่ต่างกันที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน

แร่ธาตุ	ปริมาณแร่ธาตุ (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเกลือสินเธาว์ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน			
	จักรตุพร, 2536 (อ.จัตุรัส)	เจษฎา, 2536 (อ.บรบือ)	สุมาลี, 2536 (จ. ชัยภูมิ)	Thapa, 2002 (Sindhenoon,Nepal)
Na	6543.5	4411	6577.33	5130
K	85.17	41	40.64	12.19
Ca	88.4	504	203.20	6.60
Mg	26.25	58.5	60.65	2.67
Cl	-	-	9529.07	-

ที่มา: จักรตุพร, 2536; เจษฎา,2536; สุมาลี, 2536; Thapa, 2002

3. น้ำทะเลเทียม หรือน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปในทางการค้า

การใช้น้ำทะเลเทียม ในการอนุบาลลูกกุ้งก็เป็นแหล่งน้ำเค็ม ที่สามารถจัดเตรียมได้เอง ไม่ต้องขนส่งน้ำทะเล หรือน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือมา เพื่อใช้ในการเพาะและอนุบาลลูกกุ้ง ทำให้ต้นทุนในผลิตกุ้งลดลง และเป็นวิธีการป้องกันโรคระบาดได้ดี น้ำทะเลเทียมที่ใช้กันนั้นมีสูตรแตกต่างกันไปตาม ตารางที่ 16

ตารางที่ 16 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 16 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 (ตารางที่ 17) เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ และการขนส่ง

ตารางที่ 17 ปริมาณแร่ธาตุที่ปรากฏอยู่บนซองเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียมภายใต้เครื่องหมายการค้าต่างๆ

ชนิดแร่ธาตุ	ชื่อการค้า				
	Aqua Marine	Aqua Raise	Deep Blue sea (มิลลิกรัม/ลิตร)	Marinium (มิลลิกรัม/ลิตร)	Thai Coral (ไมโครโมล/ลิตร)
Cl	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	18400	19000	598.324
Na	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	10700	10500	548.249
Mg	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	1300	1410	58.657
S	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	2680 (SO_4^{2-})	885	56.981(SO_4^{2-})
Ca	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	411	420	18.952
K	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	383	380	11.854
Br	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	65	65	2.651
B	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	8.10	8.10	-
Sr	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	4.60	4.60	0.865
F	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	1.30	1.30	0.003
Li	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.18	0.18	0.523
Rb	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.13	0.13	0.114
I	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.0408	0.0602	0.024
Ba	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.0330	0.0330	0.685
Al	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.0103	0.0103	0.321
Fe	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.0110	0.0110	0.815
Mo	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.0105	0.0105	0.495
Zn	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.0100	0.0100	0.002
Mn	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.0021	0.0021	0.458
V	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.00275	0.00275	0.003
Co	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.000465	0.000465	0.001

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

1.1 ตู้กระจกสำหรับอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามขนาด 29.5 x 60.0 x 38.0 เซนติเมตร ที่มีฝา ปิดสนิท มีความจุประมาณ 50 ลิตร ภายในแบ่งช่องขนาด 11.7 x 14.3 x 38.0 เซนติเมตร สำหรับติดตั้ง ปั๊มน้ำขนาดเล็ก และช่องสำหรับติดตั้งระบบกรองขนาด 14.3 x 17.5 x38.0 เซนติเมตร จำนวน 12 ตู้ (ภาพที่ 24)

1.2 วัสดุกรอง Bioball 720 ลูก/ตู้ (ภาพที่ 25)

1.3 ปั๊มน้ำ ขนาดเล็กที่สามารถสูบน้ำได้ 600 ลิตร/ชั่วโมง

1.4 กระชังผ้าที่มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน (ภาพที่ 26)

1.5 ถังไฟเบอร์ขนาดความจุ 200 ลิตรสำหรับเก็บน้ำทะเล

1.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.7 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

1.8 กล้องจุลทรรศน์

2. อุปกรณ์ในการตรวจวัดคุณภาพของน้ำ

2.1 เครื่อง X- ray fluorescence spectrophotometry รุ่น Oxford ED^{2000}(ภาพที่ 27)

2.2 เครื่อง pH meter ยี่ห้อ Horiba model D-21

2.3 เครื่อง ion meter ยี่ห้อ Hanna C203 Multi-parameter specific ion meter

2.4 เครื่อง Conductivity meter ยี่ห้อ Jenway 9002 model.

2.5 ขวดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ

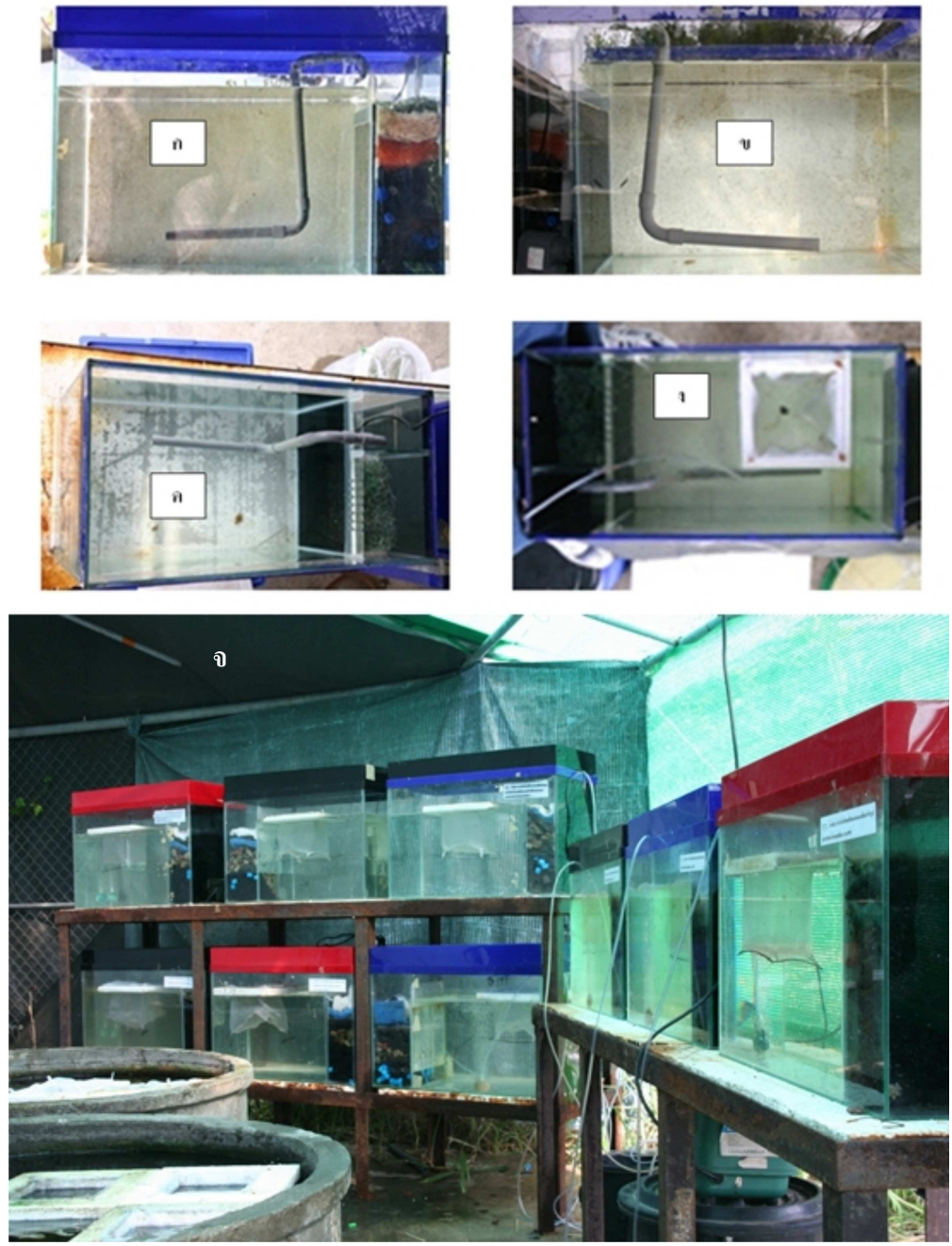
2.6 Refractometer

3. อุปกรณ์อื่นๆ

3.1 กล้องถ่ายภาพดิจิตอล

3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.3 เข็มฉีดยาพร้อมกระบอกฉีดยา



ภาพที่ 24 ตู้กระจกสำหรับอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ภาพด้านข้างแสดงช่องติดตั้งระบบกรอง (ก) ภาพด้านข้างแสดงช่องสำหรับติดตั้งปั๊มน้ำ (ข) ภาพด้านบนแสดงการแบ่งช่องภายในตู้ทดลอง (ค) และ ภาพด้านบนของตู้ทดลองที่มีกระชังสำหรับอนุบาลลูกกุ้งลอยอยู่ (ง) และภาพรวมของตู้ทดลองในขณะทำการทดลอง (จ)

ภาพที่ 25 ไบโอบอล (bioball) ชนิดต่างๆ

ภาพที่ 26 กระชังผ้าที่มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน สำหรับใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในตู้ที่มีระบบน้ำเค็มไหลเวียนแบบปิด

ภาพที่ 27 เครื่อง X- ray fluorescence spectrophotometry รุ่น Oxford ED^{2000}

สัตว์ทดลอง

แม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นแม่พันธุ์กุ้ง ที่ซื้อมาจากรถลำเลียงกุ้งก้ามกรามที่ซื้อหารวบรวมมาจากฟาร์มเอกชน ในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยการคัดเอาเฉพาะแม่พันธุ์ที่มีไข่สีส้มติดหน้าท้อง (Unripe berried female) มีอวัยวะครบถ้วน และไม่มีร่องรอยการเป็นโรค

วิธีการ

1. วิธีการเตรียมน้ำเค็ม

การเตรียมน้ำเค็ม เพื่อใช้สำหรับการทดลองในครั้งนี้ ใช้น้ำเค็มที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ประกอบด้วยน้ำเค็ม ที่มีแหล่งความเค็มต่างกัน 3 แหล่ง คือ น้ำทะเลเทียม ซึ่งเตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปในชื่อการค้า “Marinium” (ผลิตโดย Mariscience International) น้ำนาเกลือซึ่งเตรียมมา

จากน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือในจังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีความเค็ม 100 ส่วนในพัน และน้ำเกลือสินเธาว์ ที่เตรียมมาจากเกลือสินเธาว์จาก อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน

1.1 น้ำทะเลเทียม

น้ำทะเลเทียมในการทดลองนี้ เป็นน้ำทะเลเทียมซึ่งเตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูป โดยใช้ผงเกลือ 3 กิโลกรัม ละลายในน้ำประปา 200 ลิตรที่ได้ทำการพัก และให้อากาศไว้แล้ว 7 วัน ทำการปรับค่าความเค็มให้ได้ 15.0 ส่วนในพัน

1.2 น้ำนาเกลือ

การเตรียมน้ำทะเลจากนาเกลือ โดยการนำน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือใน อำเภอ บางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีความเค็ม 100 ส่วนในพัน มากรองด้วยถุงกรอง จากนั้นจึงนำไปเจือจางให้มีความเค็ม 15.0 ส่วนในพัน ด้วยน้ำประปาที่ได้ทำการพักไว้แล้ว และให้อากาศตลอดเวลา 7 วัน โดยให้มีปริมาตรประมาณ 200 ลิตร

1.3 น้ำเกลือสินเธาว์

เตรียมโดยใช้เกลือสินเธาว์จาก อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน 3 กิโลกรัม ละลายในน้ำประปาให้ได้ปริมาตร 200 ลิตร ที่ได้ทำการพักและให้อากาศไว้แล้ว 7 วัน จากนั้น จึงกรองด้วยถุงกรอง เพื่อให้น้ำเค็มที่ได้มีความใส และทำการปรับค่าความเค็มให้ได้ 15.0 ส่วนในพัน

1.4 น้ำจืดที่ใช้ในการทดลอง

น้ำจืดที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้น้ำประปาจากโรงเพาะเลี้ยงกุ้ง คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยที่น้ำประปามีความเค็ม 0 ส่วนในพัน มีองค์ประกอบของโซเดียม 71 มิลลิกรัม/ลิตร แมกนีเซียม 3 มิลลิกรัม/ลิตร โพแทสเซียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร แคลเซียม 18 มิลลิกรัม/ลิตร และคลอไรด์ 44 มิลลิกรัม/ลิตร

น้ำเค็มจากทุกแหล่งความเค็ม เมื่อทำการเตรียมเสร็จแล้วจะเก็บไว้ในถังพลาสติก ขนาดความจุ 200 ลิตร คลุมด้วยพลาสติก เพื่อไม่ให้แมลง และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ตกลงไป และมีการให้อากาศตลอดเวลา

2. การหาปริมาณแร่ธาตุหลักในน้ำเค็มโดยวิธี X- ray fluorescence spectrophotometry

2.1 วิธีการใช้เครื่อง X- ray fluorescence spectrophotometry

การหาปริมาณแร่ธาตุหลักในน้ำเค็มโดยวิธี X-ray fluorescence spectrophoto -metry นั้นทำโดยใช้ autopipette ขนาด 1,000 ไมโครลิตร ดูดน้ำเค็มตัวอย่างใส่ลงในถ้วยที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ (cup) โดยที่ด้านล่างของถ้วยจะหุ้มด้วย prolene film แล้วนำไปวัดปริมาณของธาตุ โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน ด้วยเครื่อง X- ray fluorescent spectrophotometer Oxford ED ^{2000} ตามวิธีการของ Pratoomchat *et al.* (2002b) จะได้ปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำมาคำนวณเปลี่ยนหน่วยให้เป็นมิลลิโมล/ลิตร

2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

การใช้เครื่อง X- ray fluorescence spectrophotometry ในการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในน้ำเค็ม และในพลาสมากุ้งก้ามกรามนั้น ใช้กราฟมาตรฐานกราฟเดียวกัน ซึ่งต้องเตรียมสารละลาย โดยการใช้สารเคมีในปริมาณดัง ตารางที่ 18

เมื่อเตรียมสารเคมีตามที่ระบุไว้ข้างต้นแล้ว จึงทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และทำการปรับให้สารละลายดังกล่าว มีปริมาตร 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแร่ธาตุเจือปน (deionized water) จะได้สารละลายทั้งหมดที่มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่มีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 18 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้
$CuSO_4$	0.1260 กรัม
$MnSO_4$	3.6600 กรัม
NH_3HPO_4	0.4264 กรัม
NaCl	43.2160 กรัม
$CaCl_2$	5.5380 กรัม
KCl	0.9530 กรัม
Mg standard solution (1,002 mg/l)	261.5370 มิลลิลิตร
Mn standard solution (1,002 mg/l)	24.9500 มิลลิลิตร

ที่มา: Pratoomchat. (2002)

ตารางที่ 19 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ ในสารละลายสำหรับการเตรียมกราฟมาตรฐาน เมื่อเตรียมโดยการใช้สารเคมี ตามตารางที่ 18

ชนิดแร่ธาตุในสารละลาย	ความเข้มข้น(มิลลิกรัม/ลิตร)
Mn	50
Cu	100
Na	34,000
Mg	2,000
P	200
S	2,000
K	1,000
Ca	4,000
Cl	30,207.62

ที่มา: Pratoomchat. (2002)

เมื่อได้สารละลายสำหรับการเตรียมกราฟมาตรฐานแล้ว จึงนำสารละลายดังกล่าวมาทำการเจือจางให้ได้ 5 ระดับความเข้มข้น เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ที่มีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ครอบคลุมปริมาณของแร่ธาตุที่มีอยู่ในเลือดของสัตว์ในกลุ่มกุ้ง และปู และทำการเก็บกราฟมาตรฐานเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง X- ray fluorescence spectrophotometry สารละลายทั้ง 5 ระดับการเจือจางจะมีระดับความเข้มข้นดัง ตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ได้จากการเจือจางสารละลายสำหรับการเตรียมกราฟมาตรฐานทั้ง 5 ระดับความเข้มข้น

แร่ธาตุ	ระดับความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Mn	5	10	15	20	25
Cu	10	20	30	40	50
Na	3,400	6,800	10,200	13,600	17,00
Mg	200	400	600	800	1,000
P	20	40	60	80	100
S	200	400	600	800	1,000
Cl	6,041.52	12,083.05	18,124.57	24,166.10	30,207.60
K	100	200	300	400	500
Ca	400	800	1,200	1,600	2,000

ที่มา: Pratoomchat. (2002)

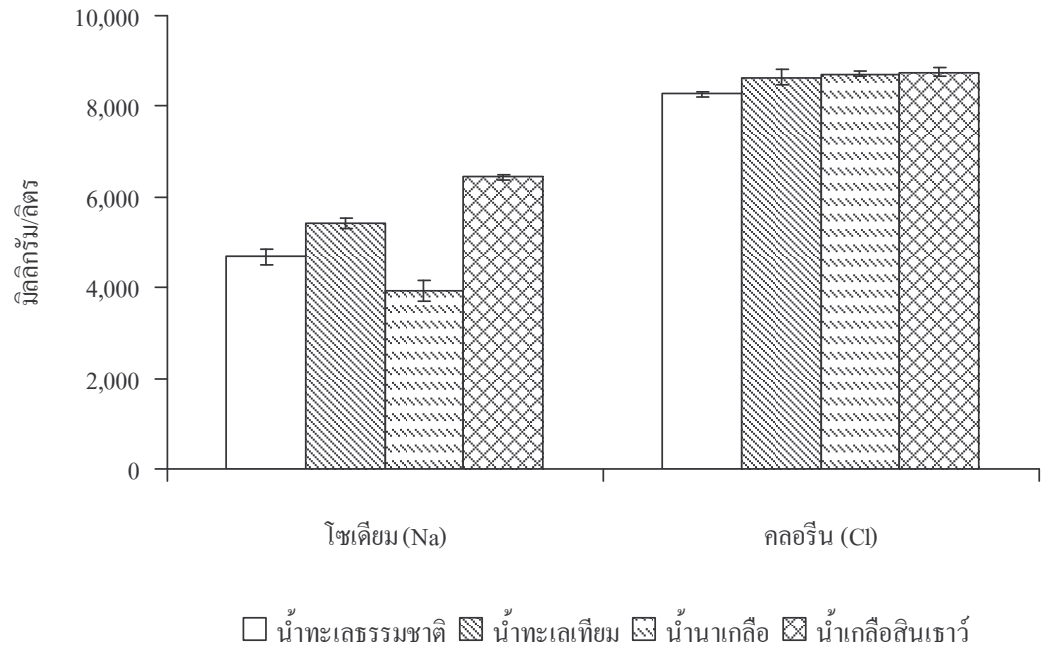
3. การชดเชยแร่ธาตุในน้ำเค็มที่เตรียมมาจากเกลือสินเธาว์

นำน้ำเค็มที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมมาจากแหล่งความเค็มทั้ง 3 แหล่งมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด คือ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน ด้วยเครื่อง X-ray fluorescent spectrophotometer Oxford ED ^{2000} ตามวิธีการของ Pratoomchat *et al.* (2002b) จะได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด มีหน่วยเป็น

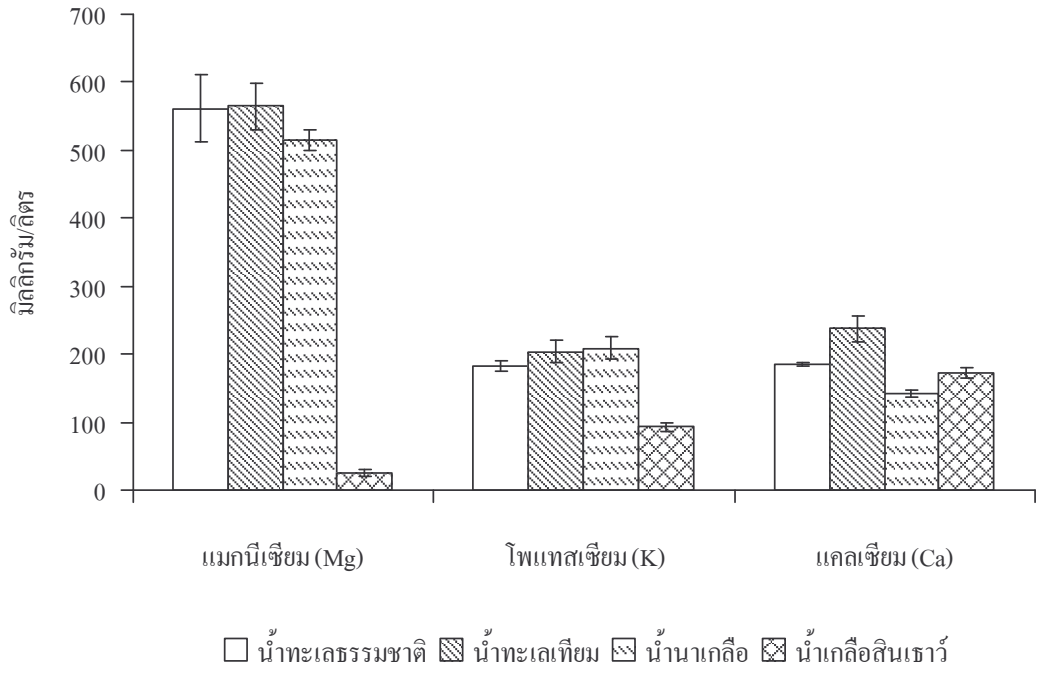
มิลลิกรัม/ลิตร จากการวิเคราะห์พบว่า น้ำเค็มทั้ง 3 แหล่ง มีปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ดังตารางที่ 21 และภาพที่ 28 29

ตารางที่ 21 ปริมาณแร่ธาตุหลัก 5 ชนิดในรูปอิออน ที่มีอยู่ในน้ำเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากแหล่งน้ำเค็มที่แตกต่างกัน

แหล่งน้ำเค็ม	ปริมาณ แร่ธาตุหลัก ในน้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	โซเดียม	แมกนีเซียม	โพแทสเซียม	แคลเซียม	คลอรีน
น้ำทะเลธรรมชาติ	4677 ± 161	561.0 ± 49.1	182.7 ± 7.4	185.3 ± 3.1	8271 ± 46
น้ำทะเลเทียม	5422 ± 111	564.5 ± 34.9	203.3 ± 16.4	237.9±19.2	8635 ± 172
น้ำนาเกลือ	3927 ± 239	514.8 ± 15.8	208.9 ± 16.6	142.7 ± 5.6	8718 ± 48
น้ำเกลือสินเธาว์	6437 ± 67	25.4 ± 4.0	92.9 ± 6.8	171.4 ± 7.7	8744 ± 96



ภาพที่ 28 ปริมาณ โซเดียม (Na) และ คลอรีน (Cl)ในน้ำทะเลธรรมชาติ น้ำทะเลเทียม น้ำนาเกลือ และ น้ำเกลือสินเธาว์ ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน



ภาพที่ 29 ปริมาณ แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) และ แคลเซียม (Ca) ในน้ำทะเลธรรมชาติ น้ำทะเลเทียม น้ำนาเกลือ และ น้ำเกลือสินเธาว์ ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน

จากการวิเคราะห์พบว่า น้ำทะเลเทียม และน้ำนาเกลือ มีปริมาณแร่ธาตุหลักใกล้เคียงกันกับปริมาณที่มีอยู่ในน้ำทะเลธรรมชาติ แต่น้ำเกลือสินเธาว์ มีปริมาณ แมกนีเซียม และโพแทสเซียมต่ำกว่าปริมาณที่มีอยู่ในน้ำทะเลธรรมชาติมาก แต่มีปริมาณแคลเซียมต่ำกว่าน้ำทะเลเทียม จึงต้องทำการชดเชยแร่ธาตุที่ขาดหายไปให้กับน้ำเกลือสินเธาว์

3.1 การชดเชยแมกนีเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์

การชดเชยแมกนีเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์นั้น ใช้ปริมาณแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำทะเลเป็นเกณฑ์ ดังนั้น จึงมีปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมขาดไปประมาณ 500 มิลลิกรัม/ลิตร จึงใช้ $MgCl_2.6H_2O$ เป็นแหล่งแมกนีเซียมในการชดเชย ซึ่งการคำนวณปริมาณแมกนีเซียมที่ต้องใช้ในการชดเชยแมกนีเซียมในน้ำเกลือสินเธาว์ทำได้ ดังนี้

จากความเข้มข้นของแมกนีเซียม ที่ขาดไป = 500 มิลลิกรัม/ลิตรดังนั้น ปริมาณแมกนีเซียมที่ต้องชดเชยลงในน้ำ 200 ลิตร = 500 x 200 = 100,000 มิลลิกรัม(100 กรัม) ในขณะที่น้ำหนักโมเลกุลของ $MgCl_2.6H_2O$ = 203.21 กรัม

ใช้ $MgCl_2.6H_2O$ = 203.21 กรัม จะมี Mg เท่ากับ 24.31 กรัม (1)

เพราะฉะนั้น Mg 24.31 กรัม จะได้มาจาก $MgCl_2.6H_2O$ 203.21 กรัม (2)

หากต้องการ Mg 100 กรัม จะต้องใช้ $MgCl_2.6H_2O$ = (203.21 x 100)/ 24.31 = 835.91 กรัม (3)

ดังนั้นจึงต้องใช้ $MgCl_2.6H_2O$ จำนวน 835.91 กรัม หรือ 836 กรัม นำมาละลายลงในน้ำเกลือสินเธาว์ที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่มีปริมาตร 200 ลิตร เพื่อทำการการชดเชยแร่ธาตุแมกนีเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์

3.2 การชดเชยโพแทสเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์

การชดเชยโพแทสเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์นั้น ใช้ปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในน้ำทะเลเป็นเกณฑ์ ดังนั้นจึงมีแร่ธาตุแมกนีเซียมขาดไปประมาณ 100 มิลลิกรัม/ลิตร จึงใช้ KCl เป็นแหล่งแมกนีเซียมในการชดเชย การคำนวณปริมาณแมกนีเซียม ที่ต้องใช้ในการชดเชยโพแทสเซียมในน้ำเกลือสินเธาว์ ทำได้ ดังนี้

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่ขาดไป = 100 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นปริมาณแมกนีเซียมที่ต้องชดเชยลงในน้ำ 200 ลิตร = 100 x 200 = 20,000 มิลลกรัม (20 กรัม) ในขณะที่น้ำหนักโมเลกุลของ KCl เท่ากับ 74.55 กรัม

ใช้ KCl = 74.55 กรัม จะมี K เท่ากับ 39.10 กรัม (1)

เพราะฉะนั้น K 39.10 กรัม จะได้มาจาก KCl 74.55 กรัม (2)

หากต้องการ K 20 กรัม จะต้องใช้ KCl = (74.55 x 20)/ 39.10 = 38.14 กรัม (3)

ดังนั้นจึงต้องใช้ KCl 38.14 กรัม หรือ 38 กรัมนำมาละลายลงในน้ำเกลือสินเธาว์ ที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพันที่มีปริมาตร 200 ลิตร ในการชดเชยแร่ธาตุโพแทสเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์

3.3 การชดเชยแคลเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์

การชดเชยปริมาณแคลเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์นั้น ใช้ปริมาณแคลซียมที่มีอยู่ในน้ำทะเลเทียมเป็นเกณฑ์ ดังนั้นจึงมีแร่ธาตุแคลเซียมขาดไป ประมาณ 60 มิลลิกรัม/ลิตร จึงใช้ $CaCl_2.2H_2O$ เป็นแหล่งแคลเซียมในการชดเชย การคำนวณปริมาณแคลเซียมที่ต้องใช้ในการชดเชยโพแทสเซียมในน้ำเกลือสินเธาว์ทำได้ ดังนี้

ความเข้มข้นของแคลเซียม ที่พร่องไป = 60 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้น ปริมาณแคลเซียมที่ต้องชดเชยลงในน้ำ 200 ลิตร = 60 x 200 = 12,000 มิลลิกรัม (12 กรัม) ในขณะที่น้ำหนักโมเลกุลของ $CaCl_2.2H_2O$ เท่ากับ 146.98 กรัม

ใช้ $CaCl_2.2H_2O$ = 74.55 กรัม จะมี Ca เท่ากับ 40.08 กรัม (1)

เพราะฉะนั้น Ca 40.08 กรัม จะได้มาจาก $CaCl_2.2H_2O$ 146.98 กรัม (2)

หากต้องการ Ca 12 กรัม จะต้องใช้ $CaCl_2.2H_2O$ เท่ากับ (146.98 x 12)/40.08 = 44.01 กรัม (3)

ดังนั้นจึงต้องใช้ $CaCl_2.2H_2O$ 44.01 กรัม หรือ 44 กรัม นำมาละลายลงในน้ำเกลือสินเธาว์ ที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่มีปริมาตร 200 ลิตร ในการชดเชยแร่ธาตุแคลเซียมให้กับน้ำเกลือสินเธาว์

4. การเตรียมตู้ทดลอง

4.1 ตู้ทดลอง

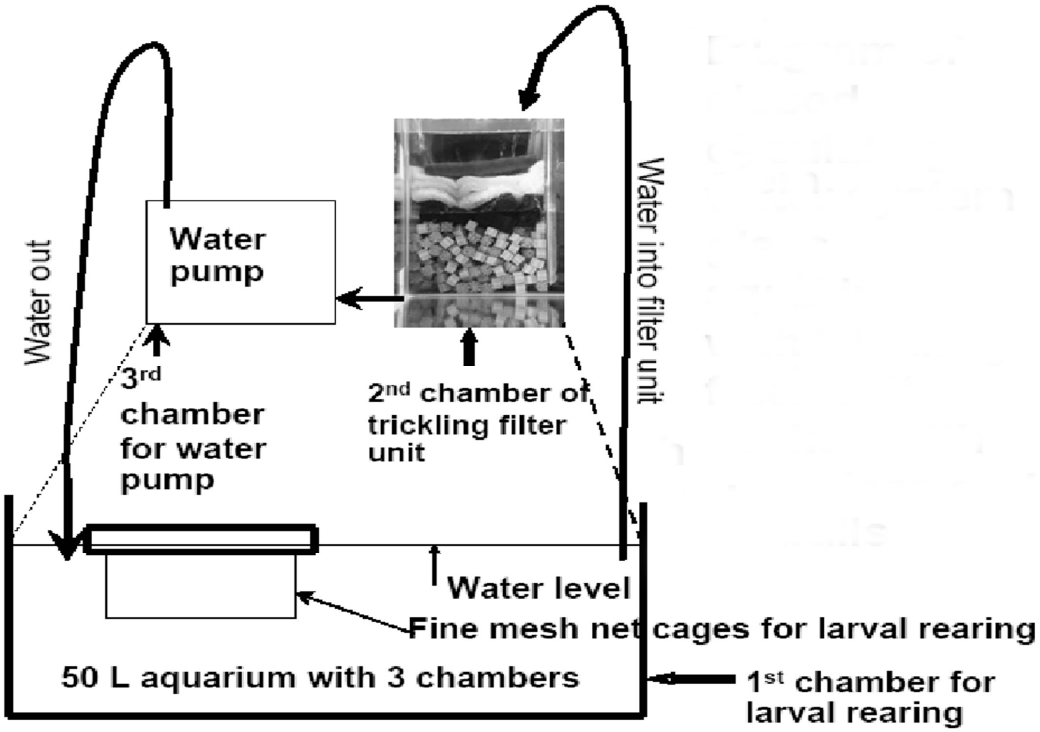
ตู้ทดลองที่ใช้เป็นตู้กระจก สำหรับอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่มีฝาปิดสนิท เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ มีความจุประมาณ 50 ลิตร ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่อง มีขนาด ความกว้าง x ความยาว x ความสูง ดังนี้ ขนาดโดยรวม 29.5 x 60.0 x 38.0 เซนติเมตร ภายในแบ่งช่องขนาด 11.7 x 14.3 x 38.0 เซนติเมตร สำหรับติดตั้งปั๊มน้ำขนาดเล็ก และช่องสำหรับติดตั้งระบบกรองขนาด 14.3 x 17.5 x 38.0 เซนติเมตร (ภาพที่ 30) มีจำนวน 9 ตู้

ภาพที่ 30 ตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

4.2 การกระตุ้นไบโอบอล

การกระตุ้นไบโอบอลเพื่อเตรียมสภาพของไบโอบอลให้มีแบคทีเรียใน กลุ่มแบคทีเรียไนตริฟายเออร์ (Nitrifier bacteria) มาเกาะอยู่ โดยที่แบคทีเรียกลุ่มนี้มีหน้าที่ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (nitrification reaction) ในการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรท โดยนำไบโอบอล ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง มาบรรจุลงในถุงผ้าที่มีสายให้อากาศบรรจุอยู่ด้วย แช่ในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียม ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันในบ่อคอนกรีตทรงกลม ทำการเลี้ยงปลานิลในบ่อ และให้อากาศตลอดเวลาเป็นเวลา 60 วัน (ภาพที่ 31) ระบบกรองในตู้ทดลองนั้นใช้วิธี Trickling filter unit โดยมีใยแก้ว ฟองน้ำสังเคราะห์ และไบโอบอล (Bioball) เป็นวัสดุกรองเรียงตามลำดับจากด้านบนลงมาด้านล่าง โดยมีการไหลเวียนของน้ำเป็นวงจรปิด (ภาพที่ 32)

ภาพที่ 31 การกระตุ้นไบโอบอลเพื่อให้มีแบคทีเรียในตริฟายเออร์มาเกาะ



ภาพที่ 32 การไหลเวียนของน้ำแบบวงจรปิดในตู้ทดลองที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

5. การบ่มไข่กุ้งก้ามกราม

ทำการรวบรวมแม่กุ้ง ที่มีความยาวทั้งหมด (total length) ใกล้เคียงกัน โดยมีความยาวประมาณ 14 เซนติเมตร และมีไข่ติดหน้าท้องในระยะแกสตรูลา ซึ่งเป็นไข่ที่มีสีส้มเท่ากันทั้งหมด (ภาพที่ 33) นำมาเลี้ยงไว้ในน้ำเค็มที่ระดับความเค็มที่ต้องการ ส่วนใหญ่จะเป็นการบ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำที่ความเค็มประมาณ 3-5 ส่วนในพัน (สำหรับการทดลองนี้กำหนดให้บ่มไข่กุ้งที่ระดับความเค็ม 3 ระดับ คือ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน) ทำการเลี้ยงแม่กุ้งด้วยเนื้อหมึกสดที่ล้างน้ำสะอาดแล้ว โดยให้อาหารในเวลา 9.00 น. และ 15.00 น. หลังจากให้อาหารไปแล้ว 1 ชั่วโมงจะทำการดูดเอาอาหารที่เหลืออยู่ทิ้งไป ทำการเลี้ยงแม่กุ้งจนกระทั่งมีพัฒนาการของตัวอ่อนในไข่จนถึงระยะหัวใจเต้น ซึ่งเป็นไข่ที่มีสีเทาเข้ม (ภาพที่ 34) เมื่อตัวอ่อนภายในไข่มีพัฒนาการถึงระยะนี้แล้ว แม่กุ้งจะสลัดไข่ออกจากขาว่ายน้ำและฟักเป็นตัวในวันต่อมา

ภาพที่ 33 แม่กุ้งที่มีไข่ที่มีพัฒนาการของตัวอ่อนในระยะแกสตรูลา ซึ่งมีสีส้ม

ภาพที่ 34 แม่กุ้งที่มีไข่ระยะหัวใจเต้น ซึ่งมีสีเทาเข้ม

6. วิธีการอนุบาล และตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

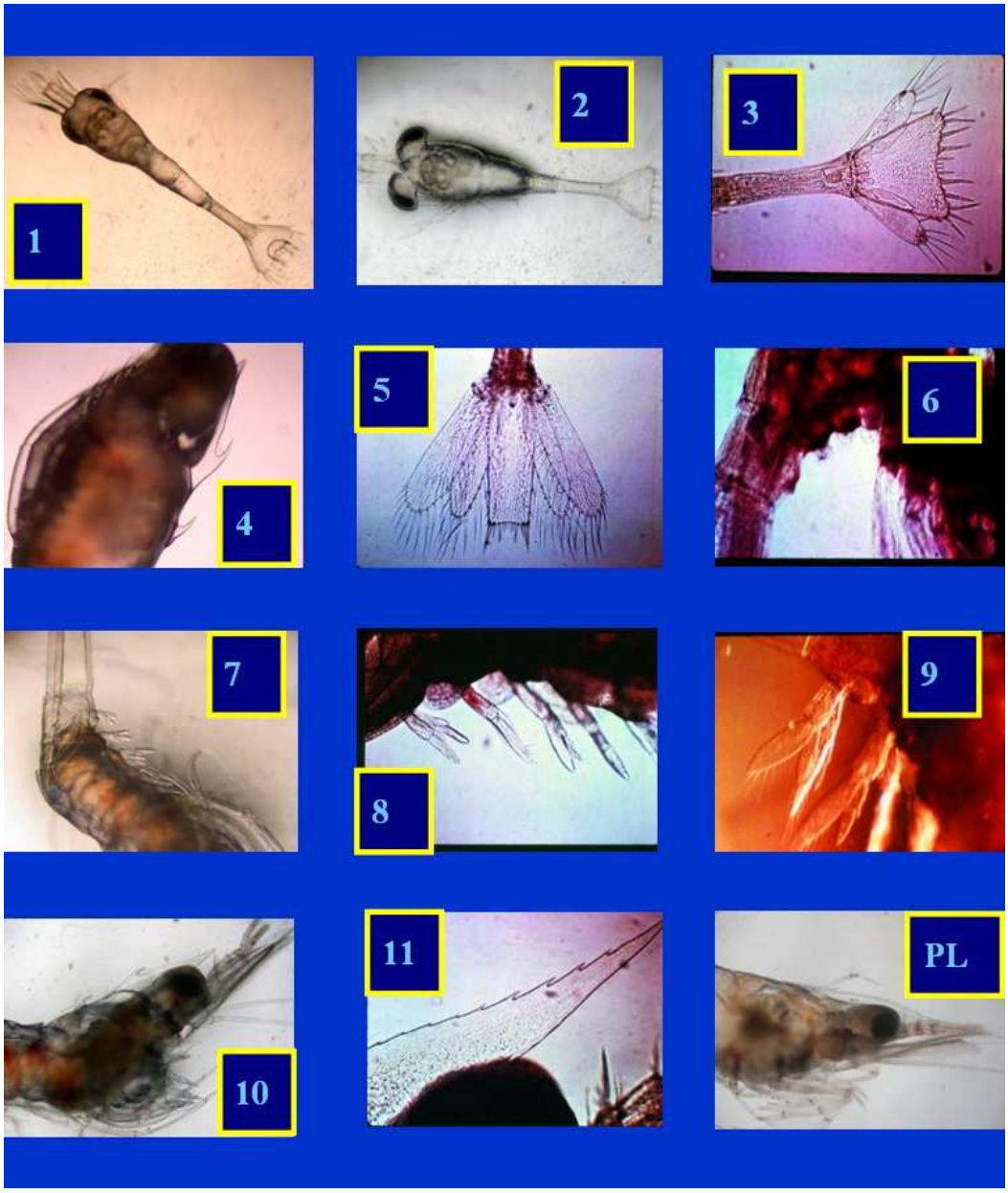
6.1 วิธีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

นำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้น มาทำการวางไข่ในน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูป สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยใช้ตาข่ายพรางแสง 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดความเครียด เมื่อไข่ฟักออกเป็นตัวทั้งหมดแล้ว จึงทำการสุ่มนับความหนาแน่นของตัวอ่อนทั้งหมด จากนั้นจึงแบ่งตัวอ่อนลงในกระชังผ้าที่มีขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน ที่ลอยอยู่ในตู้ทดลอง (ภาพที่ 30) ในอัตราความหนาแน่นของลูกกุ้งก้ามกราม 80 ตัว/ลิตร (ต่อปริมาตรน้ำทั้งหมดในตู้ 50 ลิตร) โดยที่กระชังขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตรนี้ ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในช่วงวันที่ 1-10 ของการอนุบาล และหลังจากวันที่ 10 ของการอนุบาลไปแล้ว จะเปลี่ยนไปใช้กระชังที่มีขนาด 20 x 20 x 20 เซนติเมตรแทน

ในการอนุบาลลูกกุ้งในการทดลองนี้ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่มีการดูดตะกอนและกรองเศษอาหารทิ้งไป และนำน้ำที่ดูดออกไปในแต่ละตู้เติมกลับเข้ามาในตู้ ทำการปิดฝาตู้ทดลองให้สนิทตลอดเวลาที่ทำการทดลองอนุบาลลูกกุ้ง เพื่อป้องกันน้ำระเหยไปในระหว่างการทดลอง ทำการตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งทุกวัน และใช้ตัวอ่อนอาร์ทีเมียเป็นอาหารในการอนุบาลลูกกุ้ง โดยให้อาร์ทีเมียในอัตราความหนาแน่น 5 ตัว/มิลลิลิตร (ยนต์, 2529) ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในตู้ทดลองจนกระทั่งลูกกุ้งมีพัฒนาการถึงระยะลูกกุ้งคว่ำ 100 เปอร์เซ็นต์

6.2 การตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

ทำการตรวจดูระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามทุกวัน โดยใช้ลักษณะที่ปรากฏของลูกกุ้งที่เห็นได้ จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นเกณฑ์ และแบ่งระยะพัฒนาการตามวิธีของยนต์ (2529) ซึ่งได้แบ่งระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม ออกเป็น 12 ระยะ (ภาพที่ 35)



ภาพที่ 35 พัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามทั้ง 12 ระยะ

7. การเจาะเลือด และเก็บตัวอย่างเลือดกุ้งก้ามกราม

7.1 การเตรียมสารละลาย 30 เปอร์เซ็นต์ของ tri-sodium citrate

ทำการชั่ง tri-sodium citrate ($Na_3C_6H_5O_7.2H_2O$) 30 กรัม ใส่ลงใน conical flask เติมน้ำจืดที่ปราศจากแร่ธาตุ (deionized water) ลงไป 50 มิลลิลิตร ทำการคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

จากนั้น จึงเทลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตรแล้ว ใช้น้ำจืดที่ปราศจากแร่ธาตุ เติมลงไปเพื่อปรับให้มีปริมาตร 100 มิลลิตร ก็จะได้สารละลาย 30 เปอร์เซ็นต์ของ tri-sodium citrate

7.2 การเก็บตัวอย่างเลือดกุ้งก้ามกราม

นำแม่กุ้งที่จะทำการเก็บตัวอย่างเลือดจากแต่ละการทดลอง มาทำการดูดเลือดโดยใช้เข็มฉีดยา ขนาดเบอร์ 26 ความยาว 1 นิ้ว ที่ติดอยู่กับหลอดฉีดยา (ที่มีปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร) โดยแทง ลงไปผ่านเยื่อใต้เปลือกคลุมหัว (carapace) ที่บริเวณแอ่งเลือดรอบหัวใจ (pericardial sinus) แล้วนำเลือดกุ้งมาหยดลงบนสไลด์แก้ว จากนั้นใช้ autopipette ดูดเลือดกุ้ง 0.1 มิลลิลิตร ที่เจาะได้ก่อนที่เลือดจะแข็งตัวใส่ลงใน Eppendroff ที่มี สารละลาย30 เปอร์เซ็นต์ของ tri-sodium citrate เพื่อกันเลือดแข็งตัว (Anticoagulant) อยู่แล้วในปริมาณ 1.1 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1: 11) ปิดฝา Eppendroff จากนั้นจึงเขย่าให้เข้ากัน

7.3 การเตรียมพลาสมาของกุ้ง

นำเลือดกุ้งที่ผสมด้วย 30 เปอร์เซ็นต์ของtri-sodium citrateไปปั่นเพื่อให้ตกตะกอนด้วยเครื่อง microcentrifuge เพื่อให้ตกตะกอนรวมตัวกันที่ก้นหลอดด้วยแรงเหวี่ยง 14,000 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-25 นาที จากนั้นจึงทำการดูดของเหลวส่วนบน (Supernatant) ซึ่งก็คือ พลาสมาปริมาตร 1 มิลลิลิตรนำเก็บไว้ใน eppendroff ใหม่ เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ต่อไป หากยังไม่ได้นำตัวอย่างพลาสมา ไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในทันที ให้เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

7.4 การนำเลือดกุ้งไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด

ใช้ออโตปิเปต (autopipette) ขนาดความจุ 1,000 ไมโครลิตร ทำการดูดตัวอย่างพลาสมาของแม่กุ้งใส่ลงไปในถ้วยสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ (cup) โดยที่ด้านล่างของถ้วย หุ้มด้วยโปรลีน ฟิล์ม (prolene film) แล้วนำไปวัดปริมาณของธาตุ โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน ด้วยเครื่อง X-ray fluorescent spectrophotometer Oxford ED ^{2000} ตามวิธีการของ Pratoomchat *et al.* (2002b) จะได้ปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำมาคำนวณเปลี่ยนหน่วย ให้เป็น มิลลิโมล/ลิตร

8. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

8.1 การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และอุณหภูมิ

ทำการตรวจวัดทุกวันในเวลา 8.00 น. โดยใช้ Conductivity meter ยี่ห้อ Jenway รุ่น 4200 ซึ่งวัดอุณหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้า

8.2 การตรวจวัด pH

ทำการตรวจวัด pH ทุกวัน ในเวลา 8.00 น. โดยใช้เครื่อง pH meter Horiba model D-21 (วิธี membrane electrode)

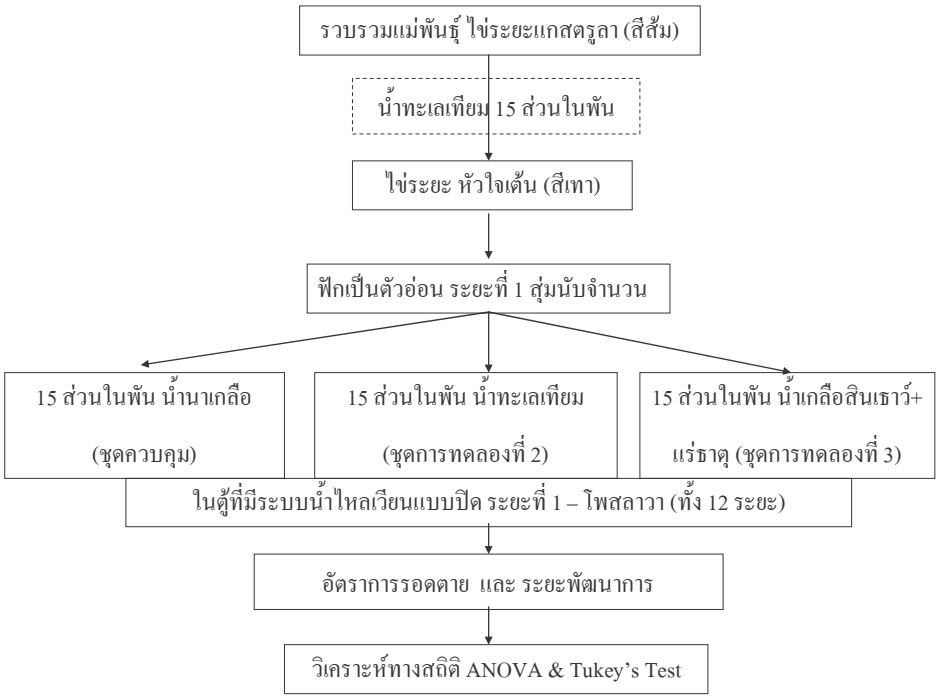
8.3 การตรวจวัดแอมโมเนียรวม และไนไตรท์

ทำการตรวจหาปริมาณแอมโมเนียรวม โดยใช้วิธีฟีเนต (phenate method) และทำการตรวจหาปริมาณไนไตรท์ โดยใช้วิธี colorimetric (APHA, *et al.,* 1971) โดยใช้ชุดวิเคราะห์สำเร็จรูป ซึ่งผลิตโดยบริษัท นาซ่า แลบ ภายใต้เครื่องหมายการค้า Aqua Am

วิธีการทดลอง

1. ผลของการใช้น้ำนาเกลือ น้ำทะเลเทียม และน้ำเกลือสินเธาว์ ที่มีต่ออัตราการรอด และพัฒนาการของลูกกุ้ง ในการอนุบาลในระบบปิด

การทดลองที่ 1 นี้ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบการไหลเวียนของน้ำแบบปิด ตั้งแต่มีพัฒนาการในระยะที่ 1 จนมีพัฒนาการในระยะโพสลาวา ในน้ำเค็มที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากแหล่งน้ำเค็มต่างกัน 3 แหล่ง ในตู้ทดลองขนาดความจุ 50 ลิตร โดยดูจาก ผลของอัตราการรอดตาย และระยะพัฒนาการของลูกกุ้ง ซึ่งวิธีการทดลองที่ 1 สามารถสรุปได้ดัง ภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แผนภาพสรุปวิธีการทดลองที่ 1

1.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 นี้เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยใช้น้ำเค็มจากแหล่งต่างๆ ที่ความเค็มเดียวกัน (15 ส่วนในพัน) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือ CRD (Completely Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ โดยมีชุดการทดลองที่ 1 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งในน้ำเค็มที่เตรียมจากน้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือ (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งในน้ำทะเลเทียม และชุดการทดลองที่ 3 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งในน้ำเกลือสินเธาว์ที่ชดเชยแร่ธาตุแล้ว

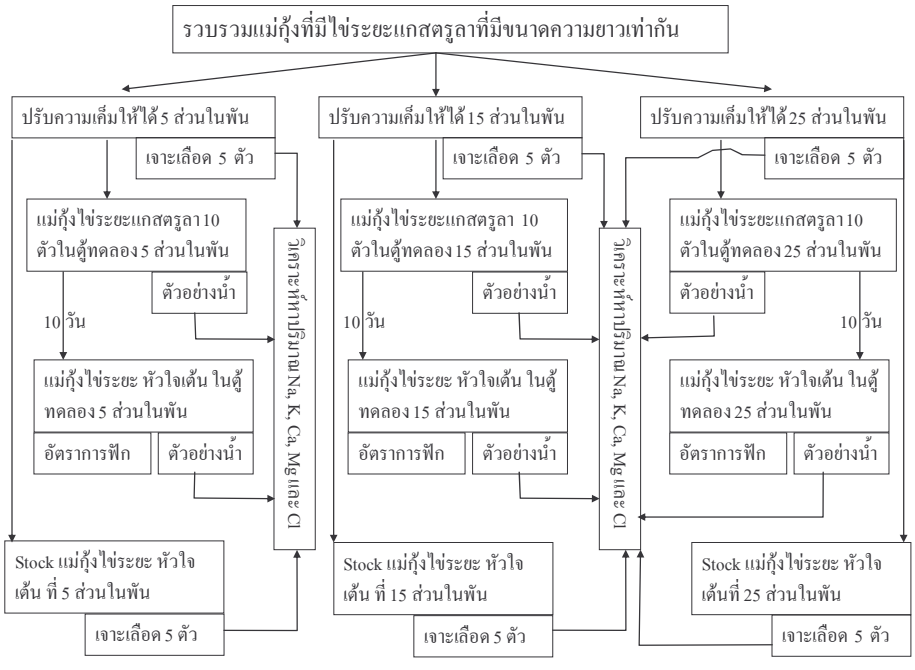
1.2 วิธีการทดลอง

นำแม่พันธุ์ทั้งหมดที่มีไข่ในระยะแกสตรูลา มาเลี้ยงในน้ำ ที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยเริ่มเลี้ยงในน้ำจืดจากนั้นจึงค่อยๆเพิ่มความเค็มขึ้นมาครั้งละ 5 ส่วนในพัน เมื่อแม่กุ้งมีไข่ที่พัฒนาจนถึงระยะหัวใจเต้น และไข่ฟักออกมาเป็นตัวอ่อนที่มีระยะพัฒนาการในระยะที่ 1 แล้วจึงนำไปอนุบาลต่อ จนมีพัฒนาการในระยะโพสลาวา ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูล ระยะพัฒนาการ และ จำนวนลูกกุ้งในระยะโพสลาวา ทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลองไปหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปคำนวณหา ความแตกต่างของระยะพัฒนาการ และอัตราการรอดตาย นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's Test โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2. การศึกษาผลของระดับความเค็ม และแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดที่มีต่อการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม ความเข้มข้นแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำที่ใช้เลี้ยง และในพลาสมาของแม่กุ้ง และอัตราการฟักไข่ในระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลอง เพื่อศึกษาความต้องการใช้แร่ธาตุหลัก 5 ชนิด ในน้ำตัวอ่อนในระยะที่อยู่ในไข่ระยะ แกสตรูลา จนถึงระยะที่แม่กุ้งมีไข่หัวใจเต้น ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน โดยการนำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะแกสตรูลา มาทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เพื่อหาอัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้น ในระหว่างการทดลองเป็นเวลา 10 วัน และมีการเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้บ่มไข่ และตัวอย่างเลือดของแม่กุ้ง ทั้งก่อนและหลังการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ซึ่งวิธีการทดลองที่ 2 สามารถสรุปรวมได้ดัง ภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แผนภาพสรุปวิธีการทดลองที่ 2

2.1 การวางแผนการทดลอง

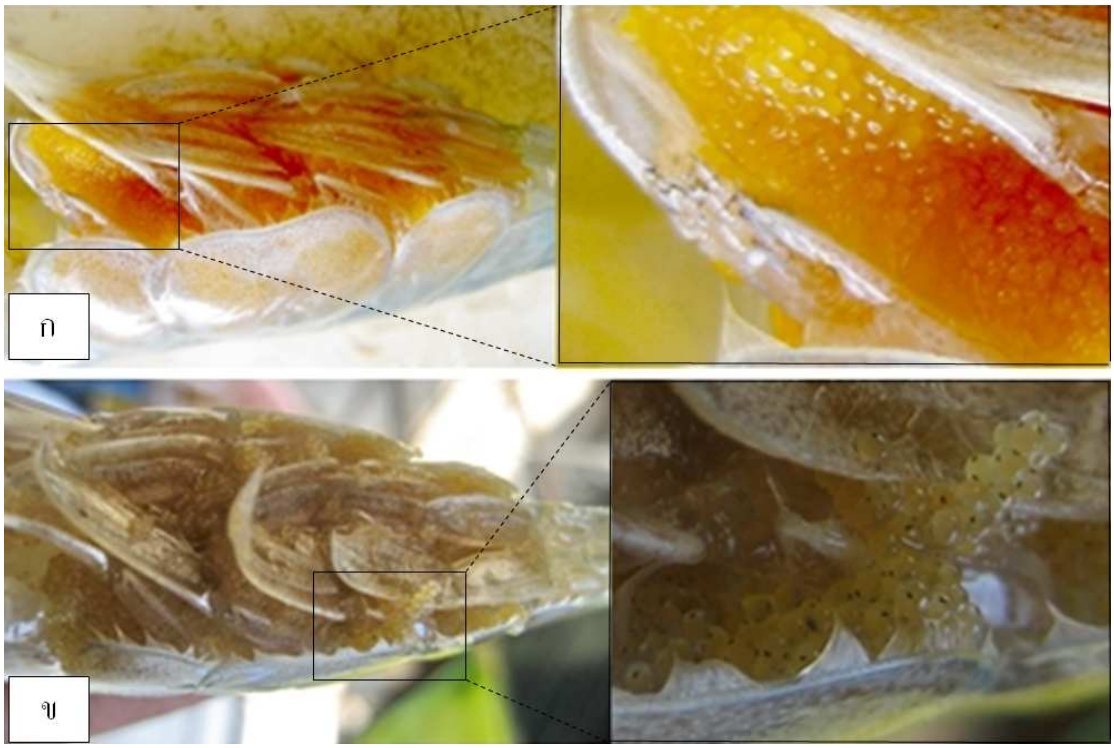
การทดลองที่ 2 มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือ CRD (Completely Randomized Design) การทดลองนี้เป็นการบ่มไข่แม่กุ้ง ตั้งแต่ระยะแกสตรูลา จนถึงระยะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะหัวใจเต้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ตามระดับความเค็มของน้ำ โดยใช้น้ำที่ให้ผลการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในการทดลองที่ 1 ที่มีอัตราการรอดเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งจากผลการทดลองที่ 1 พบว่าน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง และให้ผลอัตราการรอดสูงที่สุด ก็คือ น้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียม ดังนั้นจึงวางแผนการทดลอง โดยใช้ชุดการทดลองที่ 1 เป็นน้ำเค็ม ที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 เป็นน้ำเค็ม ที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ชุดการทดลองที่ 3 เป็นน้ำเค็ม ที่มีความเค็ม 25 ส่วนในพัน

2.2 วิธีการทดลอง

ทำการคัดแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม ที่ได้มาจากแหล่งแม่พันธุ์เดียวกันกับแม่พันธุ์ในการทดลองที่ 1 โดยคัดเอาแม่พันธุ์ที่มีความยาวทั้งหมด (total length) เท่าๆกัน ประมาณ 14 เซนติเมตร และมีไข่ติดหน้าท้องสีส้มเท่ากันทั้งหมดนำมาเลี้ยงไว้ในน้ำเค็มที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการเจาะเลือด ของแม่กุ้งที่มีไข่ระยะแกสตรูลาจำนวน 5 ตัว ที่เลี้ยงอยู่ในระดับความเค็มต่างๆ ในบ่อที่ใช้ปรับระดับความเค็ม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด (โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน) จากนั้นจึงแบ่งแม่กุ้ง เพื่อทำการเลี้ยงในตู้ทดลองที่มีขนาดความจุ 50 ลิตร ตู้ละ 10 ตัว (ชุดการทดลองละ 3 ตู้) และปล่อยให้แม่กุ้ง มีพัฒนาการของตัวอ่อนในไข่จนถึงระยะหัวใจเต้น โดยให้เนื้อหมึกสดที่ล้างด้วยน้ำสะอาดเป็นอาหาร เมื่อแม่กุ้งมีไข่ในระยะหัวใจเต้น (ภาพที่ 38) ทำการนับจำนวนแม่กุ้งที่มีไข่ในหัวใจเต้น ในแต่ละวัน ในช่วง 10 วันของการทดลอง เมื่อแม่กุ้งมีไข่ที่มีพัฒนาการในระยะ heart beating ในวันที่ 10 ของการทดลองแล้ว จึงนำไปฟักไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันต่อไป และทำการนับจำนวนลูกกุ้งที่ฟักออกมาเป็นตัวอ่อน เพื่อหาอัตราการฟักไข่ นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's Test โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ส่วนแม่กุ้งที่เหลือจากการแบ่งไปเพื่อทำการบ่มไข่ในตู้ทดลองนั้น นำไปเลี้ยงต่อในน้ำทะเลเทียมที่มีระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน โดยให้เนื้อหมึกสดที่ล้างด้วยน้ำสะอาดเป็น

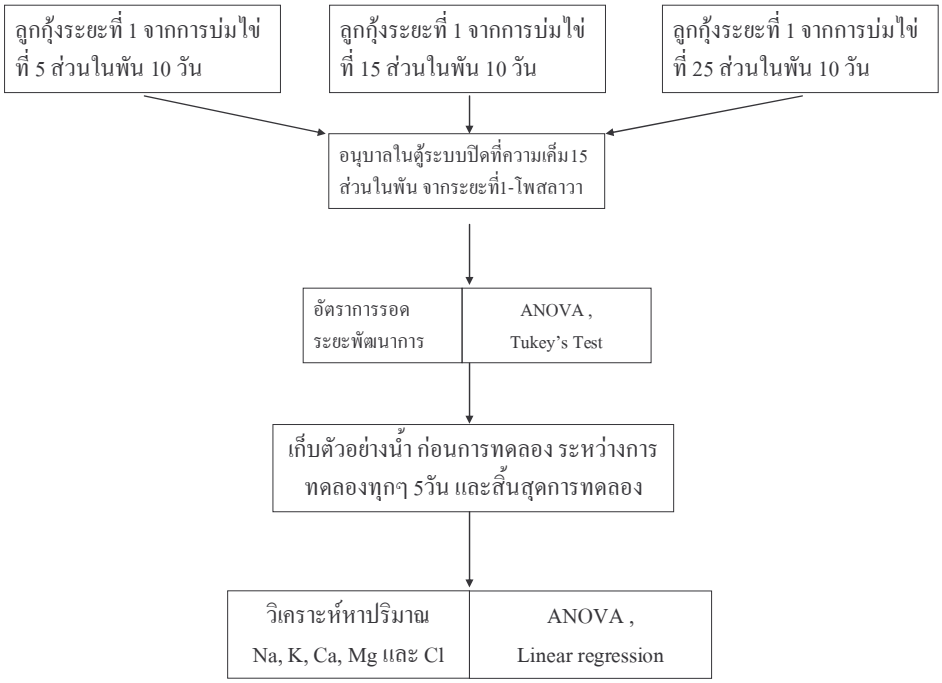
อาหารเช่นกัน และแม่กุ้งที่เหลืออยู่นี้จะนำไปใช้ในการเจาะเลือดเมื่อแม่กุ้งมีไข่ในระยะหัวใจเต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด (โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน) ในขณะที่บ่มไข่กุ้งอยู่นั้น ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละตู้โดยใช้ขวดพลาสติกขนาดความจุ 20 มิลลิลิตร ทำการเก็บตัวอย่างขวดละ 10 มิลลิลิตร ทั้งก่อนเริ่มการทดลอง(ก่อนแบ่งแม่กุ้งลงเลี้ยงในตู้ทดลอง) และหลังจากการทดลอง (เมื่อแม่กุ้งมีไข่ระยะหัวใจเต้น) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดเมื่อแม่กุ้งที่เหลืออยู่สำหรับใช้ในการเจาะเลือด มีไข่ระยะหัวใจเต้นหลังจากการเลี้ยงไปแล้ว 10 วัน จึงทำการเจาะเลือดของแม่กุ้งจำนวน 5 ตัว เพื่อนำไปหาปริมาณแร่ธาตุหลัก โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน นำค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุหลักแต่ละชนิดทั้งก่อนเริ่มการทดลอง และหลังการทดลองมาทำการหาค่าเฉลี่ย ทั้งในน้ำที่ใช้เลี้ยงแม่กุ้งและในเลือด และนำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน(ANOVA) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's Test โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 38 ไข่กุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการของตัวอ่อนระยะแกสตรูลาซึ่งไข่มีสีส้ม (ก) และไข่กุ้งก้าม กรามที่มีพัฒนาการของตัวอ่อนระยะหัวใจเต้นซึ่งไข่มีสีเทา (ข)

3. การศึกษาผลของระดับความเค็มในการบ่มไข่ต่ออัตราการรอด และพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน และการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ในการอนุบาลในระบบปิด

การทดลองที่ 3 นี้ เป็นการนำลูกกุ้งที่ได้จากการฟักไข่ที่ผ่านการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน ในการทดลองที่ 2 มาทำการอนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ตั้งแต่ลูกกุ้งมีพัฒนาการในระยะที่ 1 จนถึงระยะโพสลาวา เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุหลัก 5 ชนิด (โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน) ในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามตลอดการทดลอง การทดลองที่ 3 นี้สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แผนภาพสรุปวิธีการทดลองที่ 3

3.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือ CRD (Completely Randomized Design) โดยมีชุดการทดลอง 3 ชุดการทดลองๆละ 3 ซ้ำ โดยทำการอนุบาลลูกกุ้งที่ได้

จากการฟักไข่ที่บ่ม ในระดับความเค็ม 5 ส่วนในพันเป็นชุดการทดลองที่ 1(ชุดควบคุม) การอนุบาลลูกกุ้งที่ได้จากการฟักไข่ที่บ่ม ในระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน เป็นชุดการทดลองที่ 2 และการอนุบาลลูกกุ้งที่ได้จากการฟักไข่ที่บ่มในระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน เป็นชุดการทดลองที่ 3

3.2 วิธีการทดลอง

ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่ ที่ผ่านการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็มต่างกันทั้ง 3 ระดับในน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ตั้งแต่ลูกกุ้งมีพัฒนาการในระยะที่ 1 จนลูกกุ้งมีพัฒนาการในระยะคว่ำทุกตัว ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละตู้ทดลอง เมื่อก่อนเริ่มการทดลอง ระหว่างการทดลองทุกๆ 5 วัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ลูกกุ้งมีพัฒนาการในระยะคว่ำทุกตัว) โดยเก็บในขวดพลาสติกขนาดความจุ 20 มิลลิลิตร ครั้งละ 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปหาปริมาณแร่ธาตุหลัก โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน โดยวิธี X-ray fluorescence spectrophotometry (Pratoomchat, 2002; Pratoomchat *et al.,* 2002a) ในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งทำการสุ่มลูกกุ้ง เพื่อตรวจดูระยะของการพัฒนาทุกวัน

นำค่าความเข้มข้นของแต่ละธาตุที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ Linear Regression เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุทั้ง 5 ชนิดในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามตลอดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วจึงทำการนับจำนวนลูกกุ้งทั้งหมด เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการรอดตายเฉลี่ย และวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และนำข้อมูลระยะการพัฒนาของลูกกุ้งในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบกัน

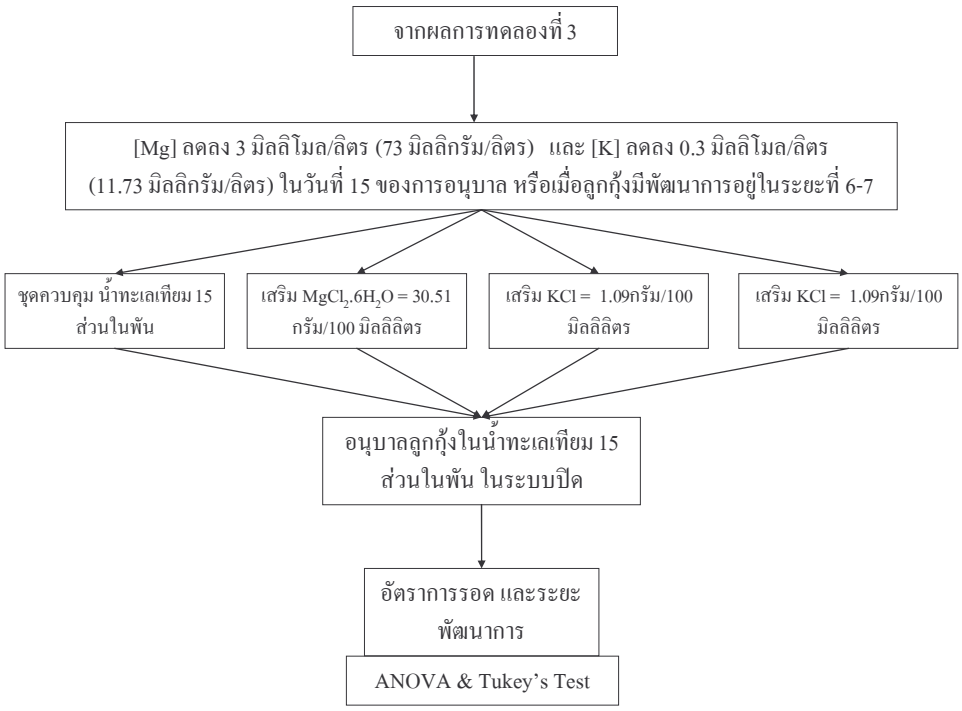
4. การเสริมแร่ธาตุที่ขาดหายไปตามข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาในการทดลองที่ 3 ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนถึงระยะโพสลาวา ในระบบปิด

การทดลองนี้ เป็นการเสริมแร่ธาตุในการอนุบาลลูกกุ้งในน้ำเค็ม ที่มีระบบไหลเวียนแบบปิด โดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 3 เป็นพื้นฐาน จากการทดลองที่ 3 นั้น แร่ธาตุที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้น มีอยู่ 3 ชนิด คือ โซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ในส่วนของแร่ธาตุโซเดียมนั้น ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มข้นลดลง แต่ก็ยังมีอยู่ในน้ำเค็มในปริมาณมาก

จึงไม่มีความจำ-เป็นที่จะต้องเสริม จึงมีเพียงแร่ธาตุแมกนีเซียม และโพแทสเซียมเท่านั้น ที่ต้องทำการเสริมแร่ธาตุโดยการเติม สารละลาย $MgCl_2.6H_2O$ และ KCl ลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลซึ่งทำได้ดังนี้

จากการทดลองที่ 3 นั้นพบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล มีความเข้มข้นลดลงไป 3 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 73 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 15 ของการอนุบาล หรือเมื่อลูกกุ้งมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 6-7 (เริ่มต้นการอนุบาลมีความเข้มข้นของแมกนีเซียม 22 มิลลิโมล/ลิตร) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงต้องทำการชดเชยแมกนีเซียมลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง ในอัตรา 3 มิลลิโมล/ลิตร ในช่วงระยะเวลาที่ทำการอนุบาลไปแล้ว 15 วัน หรือในช่วงที่ลูกกุ้งมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 6-7 โดยการเติมสารละลาย $MgCl_2.6H_2O$ ที่เตรียมโดยการชั่ง $MgCl_2.6H_2O$ ในปริมาณ 30.51 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วจึงนำสารละลายนี้ค่อยๆ เทลงในตู้ทดลองที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง โดยเทครั้งละน้อยจนหมด

ส่วนการชดเชยปริมาณโพแทสเซียมมีวิธีการเช่นเดียวกัน โดยดูจากผลการทดลองที่ 3 ซึ่งพบว่า มีปริมาณโพแทสเซียมลดลงไป 0.3 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 11.73 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 15 ของการอนุบาล หรือเมื่อลูกกุ้งมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 6-7 (เริ่มต้นการอนุบาลมีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 5 มิลลิโมล/ลิตร) โดยจึงต้องชดเชยโพแทสเซียมลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง โดยการใช้สารละลาย KCl ที่เตรียมไว้โดยการชั่ง KCl ในปริมาณ 1.09 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วจึงนำสารละลายนี้ค่อยๆ เทลงในตู้ทดลองที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง โดยเทครั้งละน้อยจนหมด ซึ่งวิธีการทดลองในการทดลองที่ 4 สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แผนภาพสรุปวิธีการที่ 4

4.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือ CRD (Completely Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ โดยมีชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยไม่มีการเสริมแร่ธาตุใดๆ ตลอดการทดลอง (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันโดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุโพแทสเซียม ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันโดยมีการเสริมด้วยแร่ธาตุแมกนีเซียม และ ชุดการทดลองที่ 4 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันโดยมีการเสริมด้วยแร่โพแทสเซียมและธาตุแมกนีเซียม

4.2 วิธีการทดลอง

นำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นมาทำการฟักไข่ เมื่อลูกกุ้งฟักออกจากไข่แล้ว จึงทำการอนุบาลลูกกุ้งในตู้ทดลองที่มีน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน เมื่อเวลาในการอนุบาล

ลูกกุ้งผ่านไป 15 วัน หรือเมื่อลูกกุ้งมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 6-7 จึงทำการชดเชยแร่ธาตุ แมกนีเซียม โพแทสเซียม และการชดเชยทั้งแมกนีเซียมและโพแทสเซียม ลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง ในระหว่างการทดลองมีการตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งทุกวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้ว (เมื่อลูกกุ้งมีพัฒนาการอยู่ในระยะโพสลาวาทุกตัว) จึงทำการนับจำนวนลูกกุ้งทั้งหมด เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการรอดตายเฉลี่ย และวิเคราะห์หาความแปรปรวน(ANOVA) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey’s Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลและวิจารณ์

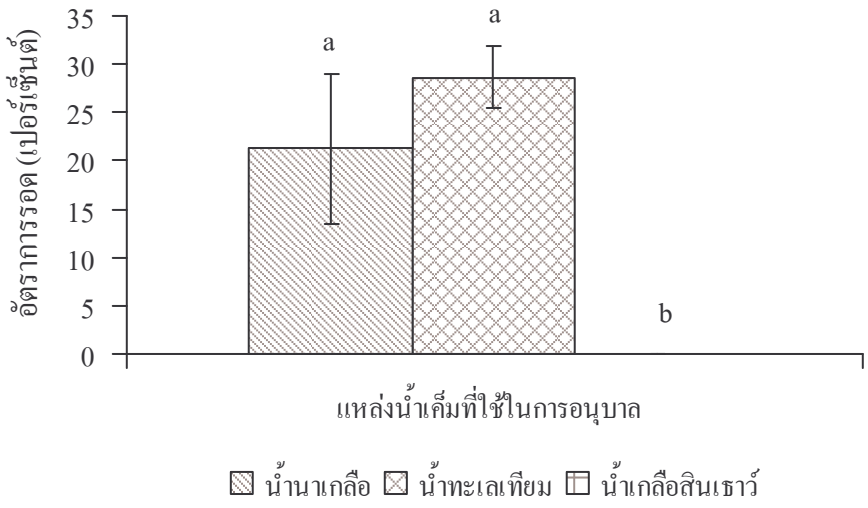
ผล

1. ผลของการใช้น้ำนาเกลือ น้ำทะเลเทียม และน้ำเกลือสินเธาว์ ที่มีต่ออัตราการรอด และพัฒนาการของลูกกุ้ง ในการอนุบาลในระบบปิด

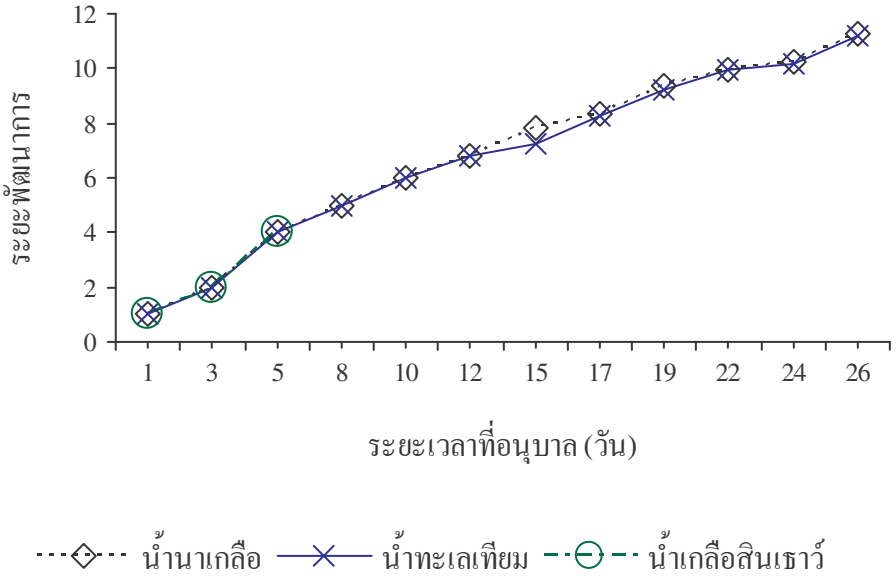
การทดลองนี้เป็น การทดลองใช้น้ำเค็มที่เตรียมจากแหล่งความเค็มที่แตกต่างกันทั้ง 3 แหล่ง ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยมีอัตราความหนาแน่นของลูกกุ้ง 80 ตัว/ลิตร และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง ทำการตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้ง และตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ pH ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์ทุกวัน

1.1 อัตราการการรอดตาย และระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

จากการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากแหล่งน้ำเค็มที่ต่างกัน ในตู้ทดลองที่มีความจุ 50 ลิตร ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด พบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลเทียมมีอัตราการรอดตาย 28.68 $\pm$ 3.21 เปอร์เซ็นต์ และลูกกุ้งก้าม-กรามที่อนุบาลในน้ำนาเกลือมีอัตราการรอด 21.26 $\pm$ 7.78 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มพบว่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ถึงแม้ว่าอัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลเทียม จะแสดงค่าอัตราการรอดสูงกว่าก็ตาม ส่วนลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำเกลือสินเธาว์ ที่ชดเชยแร่ธาตุแล้วตายทั้งหมด (ภาพที่ 41) และพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลเทียม และลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำนาเกลือมีระยะพัฒนาการของลูกกุ้งไม่แตกต่างกันด้วย แต่ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำเกลือสินเธาว์ที่ทำการชดเชยแร่ธาตุแล้วตายทั้งหมดในวันที่ 5 ของการอนุบาลในขณะที่มีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 4 (ภาพที่ 42)



ภาพที่ 41 อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) ของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจาก น้ำนาเกลือ น้ำทะเลเทียม และน้ำเกลือสินเธาว์ที่มีการชดเชยแร่ธาตุแล้วในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด



ภาพที่ 42 ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันที่เตรียมจาก น้ำนาเกลือ น้ำทะเลเทียม และน้ำเกลือสินเธาว์ที่มีการชดเชยแร่ธาตุแล้วในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด

จากการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำที่เตรียมมาจากแหล่งความเค็มที่ต่างกันทั้ง 3 แหล่งพบว่าน้ำทะเลเทียม และน้ำนาเกลือ ให้ผลการอนุบาลลูกกุ้งที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีอัตราการรอดตาย และระยะพัฒนาการของลูกกุ้งไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่การอนุบาลในน้ำเกลือสินเธาว์ที่มีการชดเชยแร่ธาตุแล้วนั้น เมื่อทำการอนุบาลลูกกุ้งจนมีพัฒนาการไปได้ถึงระยะที่ 4 และระยะที่ 5 ในบางส่วน พบว่ามีอัตราการตายเกิดขึ้นมากจนกระทั่งตายทั้งหมด ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุจากการใช้ $MgCl_2 .6H_2O$, KCl และ $CaCl_2$ เป็นแหล่งแร่ธาตุในการชดเชยแร่ธาตุให้กับน้ำเกลือสินเธาว์ ซึ่งอาจจะขาดแร่ธาตุที่จำเป็นชนิดอื่นๆซึ่งไม่ได้ทำการศึกษาในการทดลองนี้ เช่น ซัลเฟต และฟอสเฟต จึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้มีอัตราการตายสูงขึ้น อัตราการรอดของลูกกุ้งในการทดลองครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามอื่นๆ ในช่วงเวลาก่อนหน้านี้แล้วพบว่ามีอัตราการรอดตายต่ำ ดังตัวอย่างการทดลองในยุคเริ่มแรกของ ไพโรจน์ และ ทรงชัย (2513) ที่ได้ผลอัตราการรอดตายเฉลี่ย 53.29 เปอร์เซ็นต์ อนันต์ (2523) ได้ผลผลิต 41.51-42.34 เปอร์เซ็นต์ หรือผลการทดลองของ อนันต์ และคณะ (2526) ซึ่งได้ผลผลิตสูงถึง 83.44 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงในน้ำที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือระบบปิด และหากเปรียบเทียบกับการทดลองของ จักรตุพร (2536) ที่ได้ทำการเสริม แร่ธาตุ โพแทสเซียม และ แมกนีเซียมลงไปในน้ำเกลือสินเธาว์ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามซึ่งได้ผลอัตราการรอดตายถึง 60.07-60.33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Thapa (2002) รายงานอัตราการรอดตาย 35 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราความหนาแน่น 50 ตัว/ลิตร อัตราการรอดทั้งหมดที่กล่าวมานั้น ล้วนแต่เป็นอัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการทดลองอนุบาลในน้ำเค็มระบบเปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

แต่ถ้าหากเปรียบเทียบในการทดลองที่ใช้ระบบไหลเวียนของน้ำแบบวงจรปิด หรือแบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพียงเล็กน้อยบางส่วนแล้ว พบว่าอัตราการรอดตายของลูกกุ้งในการทดลองนี้ให้ผลดีกว่าในการทดลองอื่น โดยที่ในการทดลองนี้พบว่า มีอัตราการรอดตาย 21.26-28.63 เปอร์เซ็นต์ หรือได้ผลผลิตลูกกุ้งในระยะโพสลาวา 17.0-22.9 ตัว/ลิตร โดยมีความหนาแน่นในการอนุบาลลูกกุ้งถึง 80 ตัว/ลิตร ในขณะที่ Tansakul (1983) ซึ่งทำการทดลองอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำที่มีความเค็ม 12 ส่วนในพัน โดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตราร้อยละ 12.5 ทุกๆ 5 วัน มีความหนาแน่นของลูกกุ้งในการอนุบาล 10 ตัว/ลิตร และได้อัตราการรอดของลูกกุ้ง 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองของ Menasveta and Piyatiratitivorakul (1980) ที่ได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดที่มีการกรองผ่านชั้นทราย (sub-sand filter closed recirculating system) ด้วยอัตราความหนาแน่น 20 ตัว/ลิตร ได้อัตราการรอด 15.9-18.7 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองของ Ang (1996) ซึ่งได้รายงานถึงอัตราการรอดของลูกกุ้งในระยะโพสลาวา 17-50 ตัว/ลิตร

ในการอนุบาลในน้ำที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดเช่นกัน แต่ก็ไม่ได้ระบุถึงความหนาแน่นเริ่มต้นที่ใช้ในการอนุบาล อัตราการรอดตายของลูกกุ้งในการทดลองนี้ มีค่าใกล้เคียงกันกับผลการวิจัยของ วรรณนัฑ และ คมน์ (2548) ที่ทำการอนุบาลลูกกุ้งในน้ำเกลือสินเธาว์ที่ทำการเสริมแร่ธาตุ โดยมีความหนาแน่นในการอนุบาล 20 ตัว/ลิตร และได้อัตราการรอด 13.05-27.41 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราความหนาแน่นที่ปรากฏในรายงานนี้ก็ยังต่ำกว่าในการทดลองในครั้งนี้มาก ดังนั้นอัตราการตายของลูกกุ้งก้ามกรามในการทดลองในครั้งนี้ น่าจะมีสาเหตุหลักมาจากการขาดแร่ธาตุจำเป็นบางชนิด โดยมีคุณภาพน้ำที่ไม่ค่อยจะดีนักเป็นปัจจัยร่วม ในส่วนของอัตราความหนาแน่นในการอนุบาลลูกกุ้งในครั้งนี้ก็ไม่น่าจะมีผลต่ออัตราการตายเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากในการกำหนดความหนาแน่นในการอนุบาลนั้น ได้ศึกษาจากเอกสารหลายๆรายงาน ซึ่งระบุว่าควรอนุบาลลูกกุ้งในความหนาแน่น 50-100 ตัว/ลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547; ยนต์, 2529; Thapa, 2002; Jayachandral, 2001)

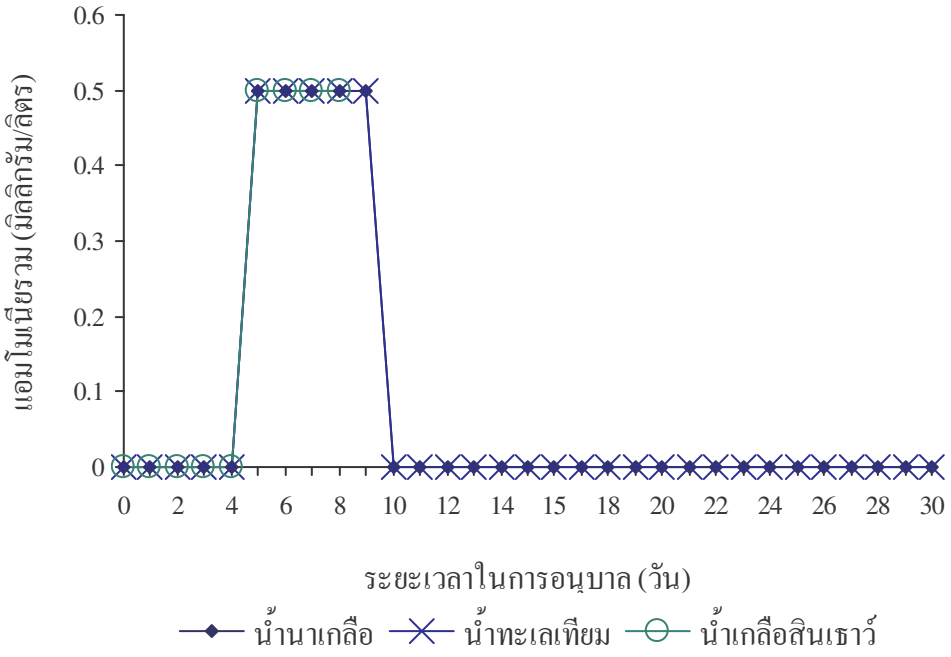
ส่วนระยะพัฒนาการของลูกกุ้งในการทดลองที่ 1 นี้พบว่ามีระยะพัฒนาการปกติโดยมีระยะเวลาในการเข้าสู่ระยะคว่ำในระยะเวลา 24-39 วัน (อนันต์, 2524; พรชัย และประภาส, 2525)

1.2 คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง

ในการทดลองนี้มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำตลอดการทดลอง โดยตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (D.O.) อุณหภูมิ pH ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์ทุกวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีคุณภาพน้ำในการทดลองมีพิสัยดังนี้ (ตารางที่ 22 ภาพที่ 43 และ 44)

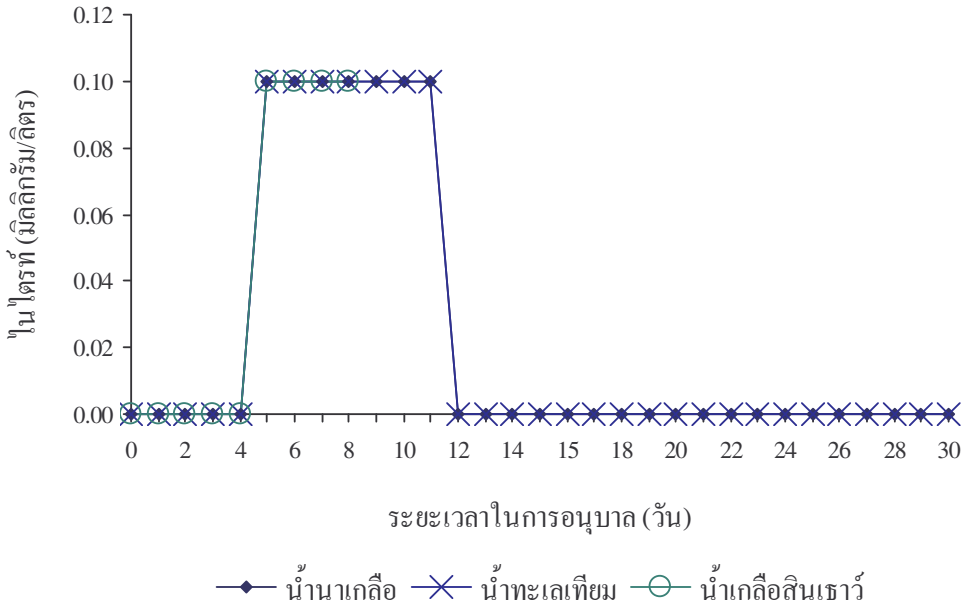
ตารางที่ 22 คุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำเค็ม 15 ส่วนในพันที่เตรียมจากแหล่งความเค็มต่างกัน 3 แหล่ง (พิสัยระหว่างค่าต่ำสุด-สูงสุดในช่วงระยะเวลา 30 วัน)

ชุดการทดลองที่	ความเค็ม (ส่วนในพัน)	D.O. (มิลลิกรัม/ลิตร)	pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนไตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
1	15.0-15.7	5.02-5.06	8.1-8.4	26.0-31.9	0-0.5	0-0.1
2	15.0-16.1	5.05-5.05	8.1-8.4	25.9-31.7	0-0.5	0-0.1
2	16.0-16.1	5.01-5.05	8.3-8.4	25.9-26.5	0-0.5	0-0.1



ภาพที่ 43 ปริมาณแอมโมเนียรวมตลอดการทดลองที่ 1

หมายเหตุ ลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำเกลือสินเธาว์ตายทั้งหมดในวันที่ 4 ของการทดลอง



ภาพที่ 44 ปริมาณไนไตรท์ตลอดการทดลองที่ 1

หมายเหตุ ลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำเกลือสินเธาว์ตายทั้งหมดในวันที่ 4 ของการทดลอง

จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งโดยรวม พบว่า คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ดูตารางที่ 7 8 9 10 และ 11 ประกอบ) แต่จะมีปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์สูงขึ้นบ้างในช่วงแรกของการอนุบาล ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองนี้มีอัตราการตายสูงในช่วงวันที่ 5 ของการอนุบาล ซึ่งตรงกับระยะพัฒนาการของลูกกุ้งระยะที่ 4 โดยเฉพาะลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำเกลือสินเธาว์นั้น พบว่า ตายทั้งหมดทุกตู้ และลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำทะเลเทียม และน้ำนาเกลือก็มีอัตราการตายสูงเช่นกัน ดังนั้นการที่ปริมาณแอมโมเนียรวมสูงขึ้นในช่วงวันที่ 5-9 ของการทดลอง และไนไตรท์ที่สูงขึ้นในช่วงวัน 5-11 ของการทดลองก็น่าจะมีจากการตายของลูกกุ้ง

แต่ปริมาณแอมโมเนียที่สูงขึ้นนี้ ก็ไม่น่าจะเป็นปัญหาต่อการอนุบาลลูกกุ้ง ซึ่งตรงกับข้อแนะนำของ Jayachandral (2001) ที่ได้แนะนำว่า ปริมาณแอมโมเนียรวมในบ่อที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามไม่ควรเกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียอิสระ และไนไตรท์ไม่ควรมีปริมาณเกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร และจะเห็นได้ว่าทั้งปริมาณแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ก็ยังมีปริมาณไม่สูงจนเกินไป และจะมีปริมาณลดลงไปเอง ในช่วงหลังจากนั้น ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า ระบบบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ในการทดลองนี้มีประสิทธิภาพเพียงพอ

ดังนั้นระบบการบำบัดแอมโมเนีย และไนไตรท์ในการทดลองนี้ ก็ไม่น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการตายของลูกกุ้งทั้งหมด ในชุดการทดลองที่ใช้น้ำเกลือสินเธาว์ ที่มีการชดเชยแร่ธาตุแล้ว แต่น่าจะเป็นปัจจัยที่เสริมปัจจัยด้านการขาดแร่ธาตุบางชนิด ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของลูกกุ้ง ซึ่งไม่ได้ทำการเสริมลงไปในน้ำเกลือสินเธาว์ ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในการทดลองนี้ จึงทำให้ลูกกุ้งตายอย่างรวดเร็ว

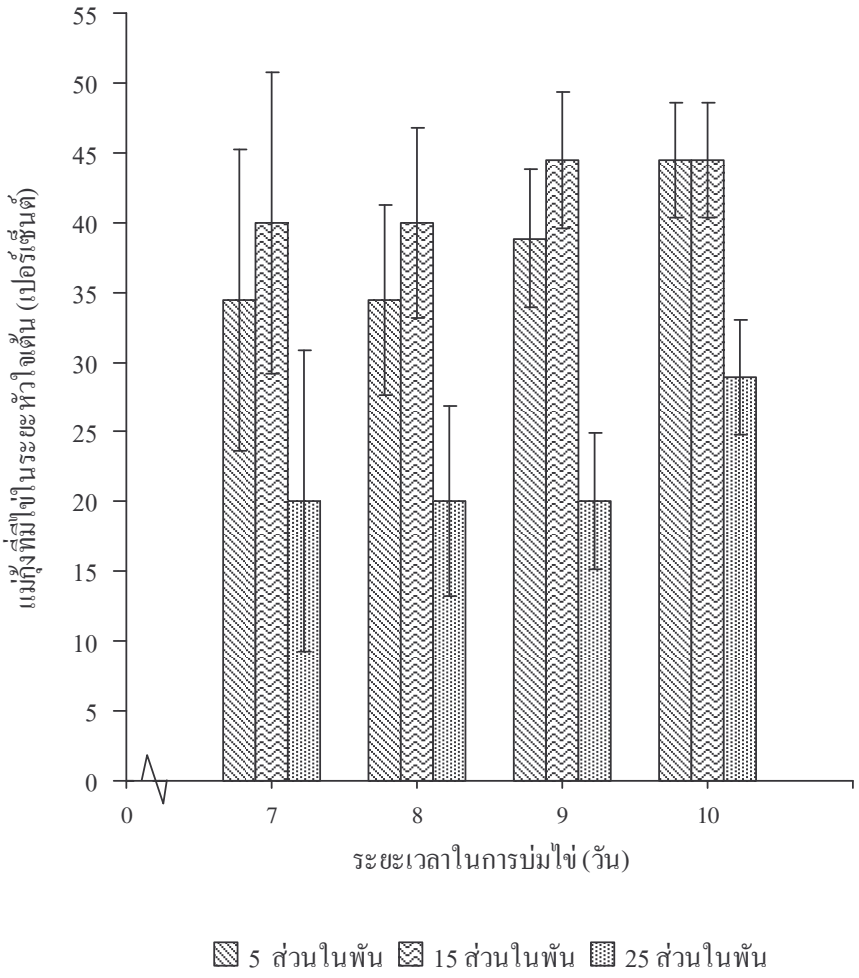
2. การศึกษาผลของระดับความเค็ม และแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดที่มีต่อการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม ความเข้มข้นแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำที่ใช้เลี้ยง และในพลาสมาของแม่กุ้ง และอัตราการฟักไข่ในระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การทดลองที่ 2 นี้เป็นการศึกษาผลของระดับความเค็มน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ ที่มีต่อพัฒนาการของตัวอ่อนกุ้งก้ามกรามในระยะคัพภะ โดยดูจากอัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้น ที่ทำการบ่มไข่ในระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน พร้อมกันนั้นได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำในตู้ทดลองทุกตู้ก่อนที่จะปล่อยแม่กุ้งลงไป เพื่อทำการบ่มไข่ และเมื่อบ่มไข่

ครบ 10 วันแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำในตู้ทดลองทุกตู้อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บไปทั้ง 2 ครั้งนั้นไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุหลัก โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน เพื่อที่จะได้ทราบว่าในกระบวนการบ่มไข่กุ้งก้ามกรามนั้น มีแร่ธาตุชนิดใดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ทั้งในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ และในพลาสมาของแม่กุ้ง

2.1 ผลของระดับความเค็มต่อการพัฒนาตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามในระยะคัพภะ

จากการที่รวบรวมแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะแกสตรูลาเหมือนกัน และมีความยาวใกล้เคียงกัน มาทำการบ่มไข่ที่ระดับความเค็มแตกต่างกันจากการทดลอง พบว่า แม่กุ้งที่มีไข่ในระยะแกสตรูลาที่ทำการบ่มไข่ในน้ำที่มีระดับความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพัน มีการพัฒนาของตัวอ่อนดีกว่าในระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน ในช่วงระยะเวลาการทดลอง 10 วัน โดยดูจากอัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05) ผลการบ่มไข่ พบว่าแม่กุ้งเริ่มมีไข่ในระยะหัวใจเต้น ในวันที่ 7 ของการทดลอง แต่ทั้งในวันที่ 7 และ 8 ของการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทุกระดับความเค็ม (P>0.05) แต่จะเริ่มมีความแตกต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 9 ของการบ่มไข่ (ดูตารางผนวกที่ 4 ประกอบ) ในวันที่ 10 ของการทดลอง พบว่า อัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นที่บ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพัน มีอัตราส่วนเท่ากัน (44.43 $\pm$ 9.64 เปอร์เซ็นต์ เท่ากัน) แต่มีอัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นสูงกว่า ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน (28.87 $\pm$ 7.68 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05) ดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 อัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นต่อแม่กุ้งทั้งหมด ที่ทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน ในช่วงระยะเวลา 10 วันในการบ่มไข่

ในการบ่มไข่แม่กุ้งที่มีไข่ระยะแกสตรูลา เพื่อให้ไข่มีพัฒนาการเป็นระยะหัวใจเต้นในช่วงเวลา 10 วัน ในน้ำทะเลเทียมที่มีระดับความเค็มต่างๆ นั้น พบว่า อัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้น ต่อแม่กุ้งทั้งหมด ที่ผ่านการบ่มไข่ในน้ำ ที่มีความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพัน มีอัตราส่วนสูงกว่าแม่กุ้งที่ บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 25 ส่วนในพันอย่างชัดเจน การทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ ไพโรจน์ และทรงชัย (2513) ที่รายงานว่า แม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้องนั้นมักจะจับได้ในธรรมชาติจากแหล่งน้ำที่มีความเค็มต่ำๆ ประมาณ 3-6 ส่วนในพัน

และผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกันกับรายงานของ New (1990) ซึ่งระบุว่า แม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้องที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน และความเค็มที่ต่ำกว่านั้น จะมีอัตราการฟัก

ไข่สูงขึ้น นอกจากนี้รายงานของ New and Singholka (1995) ได้กล่าวว่า ในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเชิงพาณิชย์ เกษตรกรจะนำแม่กุ้งในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้อง ที่เลี้ยงอยู่ในน้ำความเค็ม 0-5 ส่วนในพัน เมื่อตัวอ่อนมีพัฒนาการเต็มที่แล้ว (ไข่สีเทา) ก็จะนำแม่กุ้งไปเลี้ยงต่อในน้ำ ที่มีความเค็ม 12 ส่วนในพันในทันที โดยที่แม่กุ้งไม่มีอาการผิดปกติใดๆ การทดลองครั้งนี้ จึงเป็นการสนับสนุนรายงานของ Ling (1969) ซึ่งรายงานไว้ว่า เมื่อแม่กุ้งมีไข่ติดที่หน้าท้องก็จะอพยพไปอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย ทั้งนี้ Singh (1980) ก็ได้รายงานไว้ว่า isosmotic point ของกุ้งก้ามกรามนั้นอยู่ที่ความเค็ม 17.5-18 ส่วนในพัน ที่ความเค็มนี้น่าจะเป็นความเค็มที่ลูกกุ้ง ในขณะที่ยังอยู่ในเปลือกไข่อยู่ได้อย่างสบาย โดยไม่ต้องใช้พลังงานในการรักษาสมดุลออสโมติกมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆ ภายในร่างกายมีความเข้มข้นเท่ากัน กับความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆ ภายนอกร่างกาย

2.2 การเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ และในพลาสมาของแม่กุ้งทั้งก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 3 ระดับ

ในการเก็บตัวอย่างน้ำในตู้ทดลองที่ใช้ในการบ่มไข่กุ้งนั้น ได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำในตู้ทดลองทุกตู้ก่อนที่จะปล่อยแม่กุ้งลงไป เพื่อทำการบ่มไข่ จากนั้นจึงทำการเลี้ยงแม่กุ้งต่อไปอีก 10 วัน เพื่อบ่มไข่กุ้งจากระยะแกสตรูลาให้มีพัฒนาการเป็นระยะหัวใจเต้น เมื่อบ่มไข่ครบ 10 วันแล้ว จึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำในตู้ทดลองทุกตู้อีกครั้งหนึ่ง แล้วนำตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บไปทั้ง 2 ครั้งนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลัก โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน เพื่อที่จะได้ทราบว่าในกระบวนการบ่มไข่กุ้งก้ามกรามนั้น มีแร่ธาตุชนิดใดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

จากผลการทดลองบ่มไข่กุ้งก้ามกรามในน้ำที่มีระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน ในช่วงระยะเวลา 10 วัน จากแม่กุ้งที่มีไข่ระยะแกสตรูลาทั้งหมดในวันแรก จนมีพัฒนาการของไข่ในระยะหัวใจเต้น เมื่อครบ 10 วัน พบว่าแร่ธาตุโซเดียมในน้ำ มีความเข้มข้นลดลงในทุกระดับความเค็มที่ใช้บ่มไข่ (P<0.05) โดยที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพันนั้น มีความเข้มข้นโซเดียมในน้ำก่อนการบ่มไข่ เท่ากับ 64 $\pm$ 8 199 $\pm$ 4 และ 287 $\pm$ 7 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อผ่านการบ่มไข่ไปแล้ว 10 วัน จะมีปริมาณโซเดียม เท่ากับ 46 $\pm$ 2 155 $\pm$ 17 และ 243 $\pm$ 7 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ และแร่ธาตุแมกนีเซียมที่ระดับความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพันก็มีปริมาณลดลงเช่นกัน (P<0.05) โดยมีปริมาณก่อนการบ่มไข่ที่ 5 และ 15 ส่วนในพัน เท่ากับ 7.0 $\pm$ 0.5 และ 23.9 $\pm$

1.3 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ ยกเว้นที่ความเค็ม 25 ส่วนในพันที่พบว่าปริมาณแมกนีเซียมทั้งก่อนและหลังการบ่มไข่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (P>0.05) ส่วนโพแทสเซียม แคลเซียม และคลอรีน ในน้ำทุกระดับความเค็มที่ใช้ในการทดลองบ่มไข่ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน ในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่แม่กุ้งที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน ทั้งก่อนและหลังการบ่มไข่ในเป็นเวลา 10 วัน

แร่ธาตุ	ความเค็ม 5 ส่วนในพัน		ความเค็ม 15 ส่วนในพัน		ความเค็ม 25 ส่วนในพัน	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
	(มิลลิโมล/ลิตร)		(มิลลิโมล/ลิตร)		(มิลลิโมล/ลิตร)	
โซเดียม	64 ± 8^{a}	46 ± 2^{b}	199 ± 4^{a}	155 ± 17^{b}	287 ± 7^{a}	243 ± 7^{b}
โพแทสเซียม	2.4 ± 0.2^{a}	2.4 ± 0.1^{a}	5.2 ± 0.5^{a}	5.0 ± 0.4^{a}	7.7 ± 0.6^{a}	7.4 ± 0.2^{a}
แคลเซียม	2.0 ± 0.0^{a}	1.9 ± 0.2^{a}	4.8 ± 0.8^{a}	5.1 ± 0.8^{a}	7.8 ± 0.6^{a}	8.0 ± 0.3^{a}
แมกนีเซียม	7.0 ± 0.5^{a}	3.7 ± 0.4^{b}	23.9 ± 1.3^{a}	19.0 ± 0.7^{b}	36.6 ± 0.5^{a}	36.6 ± 0.3^{a}
คลอรีน	62 ± 6^{a}	61 ± 8^{a}	198 ± 6^{a}	190 ± 8^{a}	332 ± 4^{a}	307 ± 6^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

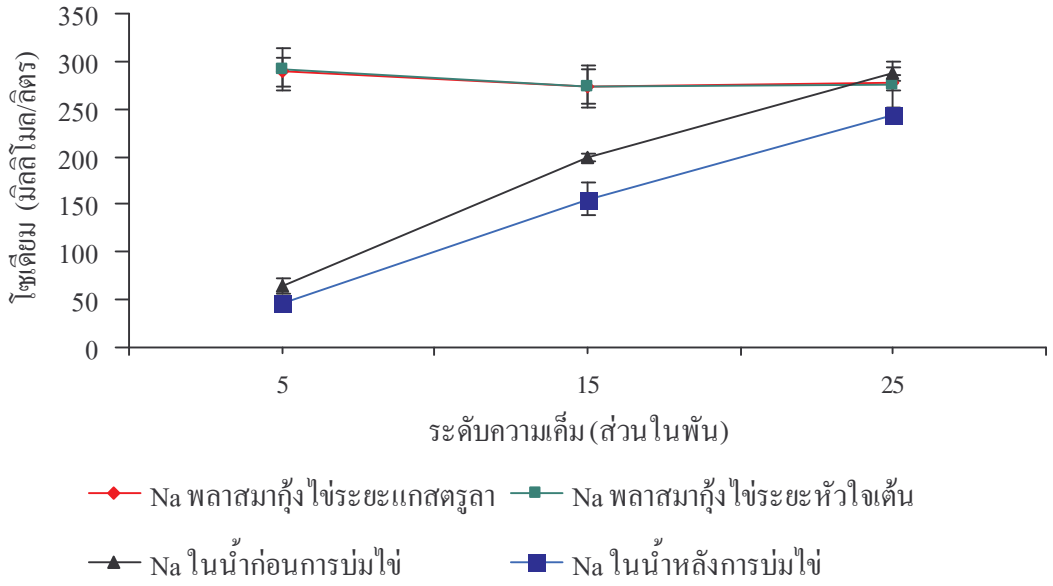
2.2.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของธาตุโซเดียมในพลาสมากุ้ง และน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่

จากการทดลองตรวจสอบ ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้ง ที่มีไข่ระยะแกสตรูลา และแม่กุ้งมีไข่ระยะหัวใจเต้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทั้งก่อน และหลังการบ่มไข่ ในทุกระดับความเค็ม (P>0.05) โดยที่ความเค็ม 5 ส่วนในพัน พบว่ามีความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้ง ก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่เท่ากับ 289.44 ± 14.91 และ 291.52 ± 21.27 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่ามีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่และหลังจากการบ่มไข่ 272.91 ± 18.08 และ 273.92 ± 21.61 มิลลิโมล/ลิตร และที่ความเค็ม

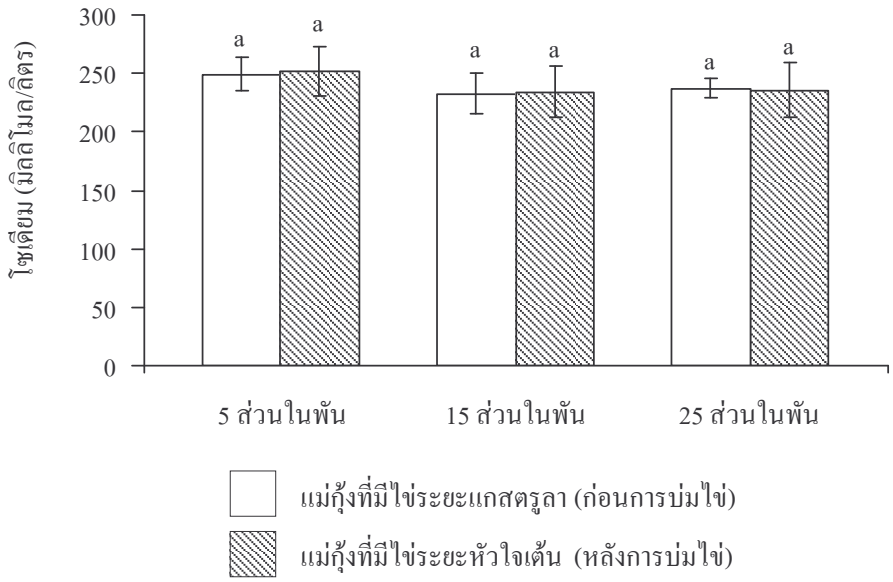
25 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่ 277.29 $\pm$ 7.99 และ 275.73 $\pm$ 23.41 มิลลิโมล/ลิตร

ส่วนความเข้มข้นของธาตุโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการทดลองบ่มไข่กุ้งก้ามกรามนั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของธาตุโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม ทั้งก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่มีการลดลง (P<0.05)ในทุกระดับความเค็ม โดยที่ความเค็ม 5 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่ เท่ากับ 64.26 $\pm$ 8.45 และ 46.02 $\pm$ 2.11 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่และหลังจากการบ่มไข่ 199.36 $\pm$ 4.03 และ 155.07 $\pm$ 16.95 มิลลิโมล/ลิตร และที่ความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่ 287.21 + 7.22 และ 243.22 + 6.70 มิลลิโมล/ลิตร

ในการทดลองนี้พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ทั้งก่อนการบ่มไข่ที่มีพัฒนาการในระยะแกสตรูลาและหลังการบ่มไข่ที่มีพัฒนาการ จนถึงระยะหัวใจเต้น แสดงว่าแม่กุ้งพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของโซเดียมในเลือดไว้ในระดับที่คงที่ โดยมีระดับความเข้มข้นสูงกว่าในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ (hyperregulation) แต่ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่ามีระดับความเข้มข้นต่ำกว่าในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ (hyporegulation) ส่วนความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่กุ้งนั้น พบว่ามีการความเข้มข้นสูงขึ้นตามระดับความเค็มน้ำ และมีความเข้มข้นลดหลังจากการบ่มไข่เป็นระยะเวลา 10 วัน โดยมี iso-ionic point ของโซเดียมอยู่ที่ระดับความเค็มประมาณ 23-24 ส่วนในพัน (ภาพที่ 46 และ 47)



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้งในขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน



ภาพที่ 47 ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น

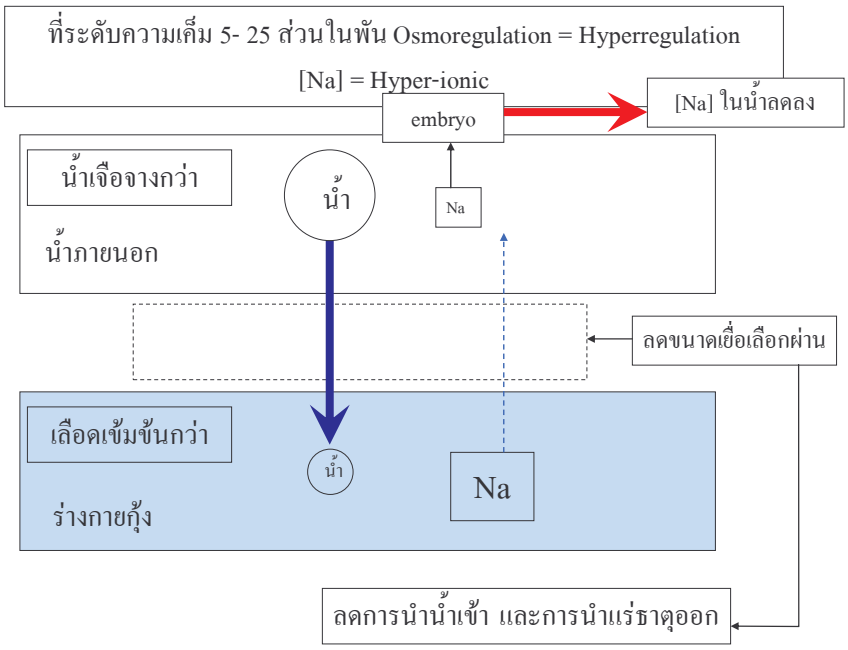
ผลจากการทดลองนี้ พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำมีการลดลงในช่วงระยะเวลา 10 วัน ที่มีการบ่มไข่ในทุกระดับความเค็ม (P<0.05) ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ลูกกุ้งต้องการใช้แร่ธาตุโซเดียมจากน้ำที่แม่กุ้งอาศัยอยู่ (น้ำที่ใช้ในการทดลองบ่มไข่) ทั้งนี้เนื่องจากลูกกุ้งต้องการแร่ธาตุจากในน้ำ เป็นแหล่งของแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อพัฒนาการ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Damrongphol *et al.* (1990) ที่ได้รายงานว่า ลูกกุ้งต้องการแร่ธาตุจากในน้ำเค็ม เช่น โซเดียม โพแทสเซียม และ คลอรีน เพื่อใช้ในการพัฒนาของตัวอ่อน หากทำการบ่มไข่ในน้ำจืดที่ไม่มีแร่ธาตุ (deionized water) จะไม่มีพัฒนาการของตัวอ่อนกุ้งเลย และผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ บุญรัตน์ และคณะ (2547) ที่รายงานว่ากุ้งจะใช้ โซเดียม โพแทสเซียม และ คลอรีน ในการควบคุมสมดุลออสโมติก สมดุลกรด-ด่าง และควบคุมความต่างศักย์ที่เมมเบรน

ในการทดลองนี้ พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาของแม่กุ้งที่เลี้ยงในระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน จะอยู่ในสภาวะ hyperregulation ส่วนแม่กุ้งที่เลี้ยงในระดับความเค็มที่ 25 ส่วนในพัน จะอยู่สภาวะ hyporegulation ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Singh (1980) ที่ได้รายงานว่า ที่ระดับความเค็ม 0-17 ส่วนในพัน กุ้งก้ามกรามจะอยู่ในสภาวะ hyper regulation ที่ระดับความเค็ม 17.5–27.0 ส่วนในพัน จะอยู่ในสภาวะhyporegulation และในช่วงระดับความเค็ม 17.0–17.5 ส่วนในพัน จะเป็นระดับความเค็มที่กุ้งก้ามกรามมีความเข้มข้นของเลือดใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อม (isosmotic point)

Wilder et al. (1998) ก็ได้รายงานไว้เช่นเดียวกันว่า ความเข้มข้นของโซเดียมในเลือดกุ้งก้ามกรามนั้น จะอยู่ในสภาวะ Hyperregulation ก็ต่อเมื่อกุ้งอาศัยอยู่ในน้ำที่มีระดับความเค็มในช่วง 0–11 ส่วน (หรือที่อัตราส่วนน้ำเค็มต่อน้ำจืด เท่ากับ 1/3 หรือ 8–290 มิลลิออสโม) แต่หากกุ้งอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอัตราส่วนน้ำเค็มต่อน้ำจืด เท่ากับ 2/3 หรือที่ระดับความเค็ม 24 ส่วนในพัน กุ้งก้ามกรามจะอยู่ในสภาวะ Hyporegulation และในสภาวะ Hyporegulation นี้เองเอนไซม์ ATPase ก็จะทำหน้าที่ขนส่งโซเดียมออกไปนอกร่างกาย) แต่ในทางตรงกันข้าม หากกุ้งอยู่ในสภาวะ Hyperregulation เอนไซม์ก็จะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการนำโซเดียม และคลอไรด์เข้าสู่ร่างกาย (Mantel and Farmer, 1983)

และในการทดลองนี้ก็พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้งจะมีค่าสูงกว่าในน้ำ (Hyperregulation) ในช่วงระดับความเค็มที่ 5-15 ส่วนในพัน จึงเป็นไปได้ว่าโซเดียมในน้ำจะแพร่เข้าไปในร่างกายแม่กุ้งพร้อมกับน้ำที่แพร่เข้ามา (Pratoomchat *et al.,* 2002a)

ซึ่งจะเห็นได้จากการที่ในพลาสมาแม่กุ้งมีความเข้มข้นของโซเดียม ในขณะที่ไข่อยู่ในระยะหัวใจเต้น ดูเหมือนว่าจะมากกว่าในขณะที่ไข่อยู่ในระยะแกสตรูลาเล็กน้อย แต่เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทางสถิติแล้ว ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในขณะที่ความเข้มข้นของโซเดียมภายในร่างกายสูงกว่าน้ำภายนอกร่างกาย โซเดียมก็จะแพร่ออกนอกร่างกายกุ้ง แต่กุ้งก็จะพยามรักษาแร่ธาตุไว้ให้มากที่สุด โดยการปรับลดขนาดเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) เป็นผลให้มีการการลดการแพร่เข้ามาของน้ำจากภายนอก และลดการแพร่ออกสู่ภายนอกของแร่ธาตุที่อยู่ภายในร่างกาย (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) ซึ่งการขนส่งแร่ธาตุโซเดียมเข้าหรือออกจากร่างกายแม่กุ้งสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 48

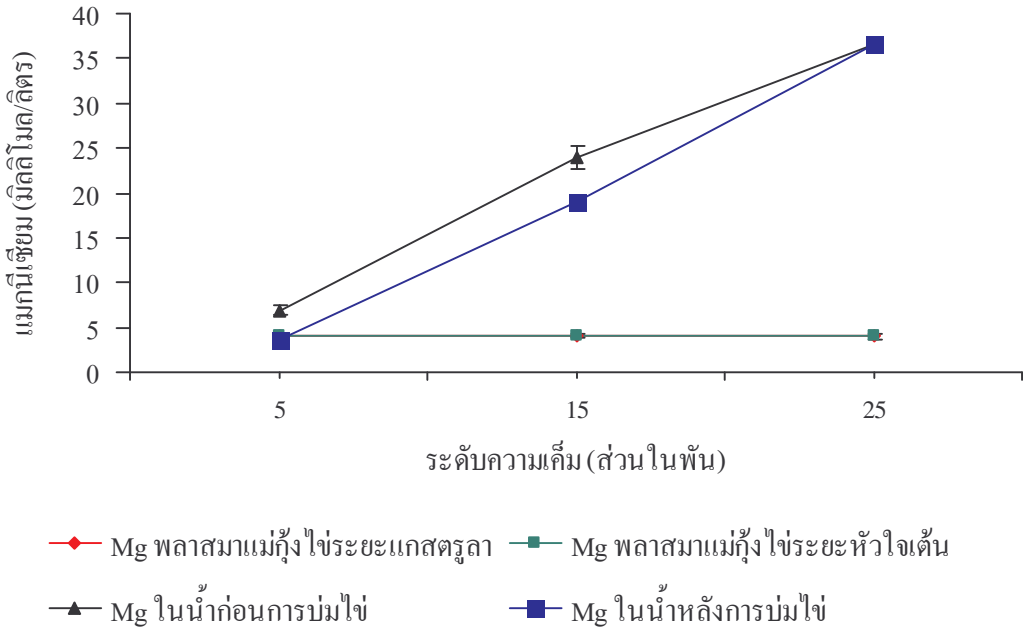


ภาพที่ 48 การควบคุมความเข้มข้นของโซเดียม ในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-25 ส่วนในพัน

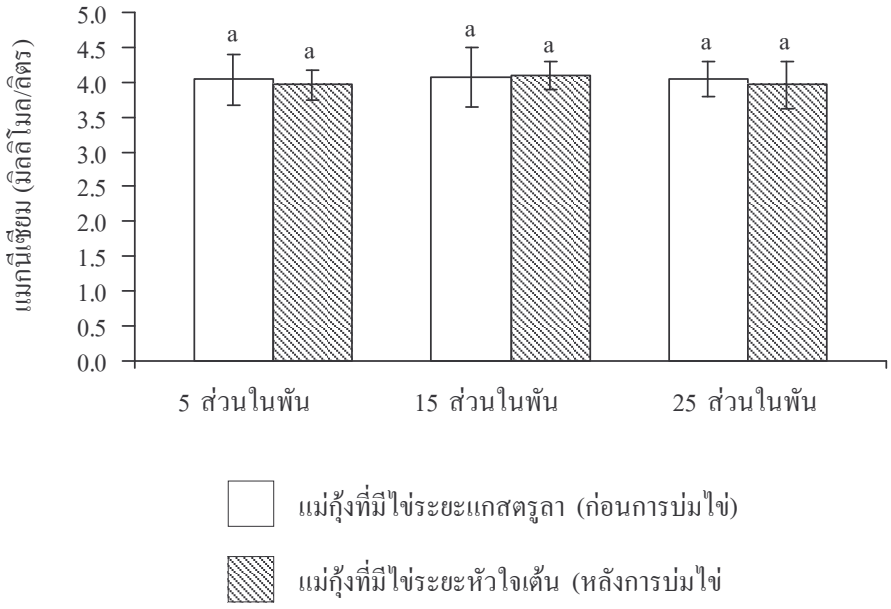
2.2.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้ง และน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่

จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งในขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และแม่กุ้งมีไข่ระยะหัวใจเต้น ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในทุกระดับความเค็ม โดยความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน มีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่ 4.04 $\pm$ 0.17 และ 3.97 $\pm$ 0.16 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน มีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่ 4.07 $\pm$ 0.17 และ 4.10 $\pm$ 0.17 มิลลิโมล/ลิตร และความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน มีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่ 4.04 $\pm$ 0.17 และ 3.93 $\pm$ 0.16 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ

ในขณะที่ ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำทั้งก่อน และหลังการบ่มไข่มีการลดลง (P<0.05) ในระดับความเค็มที่ 5 และ 15 ส่วนในพัน โดยที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพันพบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ ก่อนการบ่มไข่กุ้ง และหลังจากการบ่มไข่มีความเข้มข้น 9.65 $\pm$ 0.45 และ 3.66 $\pm$ 0.44 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ และที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ ก่อนการบ่มไข่ และหลังจากการบ่มไข่มีความเข้มข้น 23.93 $\pm$ 1.29 และ 18.95 $\pm$ 0.72 มิลลิโมล/ลิตร แต่ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลไม่มีการลดลง (P>0.05) โดยมีความเข้มข้นก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 36.57 $\pm$ 0.47 และ 36.61 $\pm$ 0.33 มิลลิโมล/ลิตร และนอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระดับความเค็มประมาณ 5 ส่วนในพัน จะมีความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้การบ่มไข่ของแม่กุ้งที่มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเลือดแม่กุ้ง (iso-ionic pont) (ภาพที่ 49 และ 50)



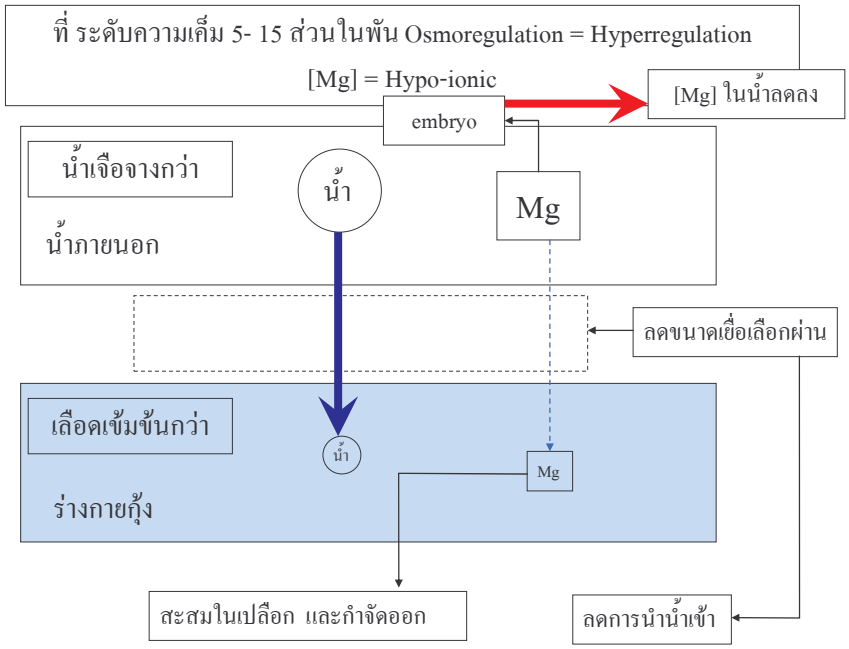
ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อน และหลังการบ่มไข่ ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน



ภาพที่ 50 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น

ความเข้มข้นของแร่ธาตุแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้บ่มไข่เป็นเวลา 10 นั้น พบว่า มีการลดลงที่ระดับความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพัน (P<0.05) แต่ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากการ ที่ตัวอ่อนต้องการธาตุแมกนีเซียมเพื่อใช้ในการพัฒนาโครงสร้าง (บุญรัตน์, 2547 ; Pratoomchat *et al.,* 2002) ซึ่งรายงานของ Damrongphol *et. al.* (2001) ก็ได้รายงานว่า ตัวอ่อนในระยะแรกๆนั้นต้องการ NaCl KCl และ $MgCl_2$ + $MgSO_4$ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของความเข้มของแร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในเลือดและน้ำที่ใช้บ่มไข่แล้ว พบว่า มีความสอดคล้องกันกับรายงานของ Wilder *et al.* (1998) ซึ่งได้กล่าวว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเลือดกุ้งก้ามกราม อยู่จะในสภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าในน้ำภายนอก (hypo-ionic) ในทุกระดับความเค็ม โดยในน้ำจืด และน้ำทะเลซึ่งผสมกับน้ำจืดในอัตราส่วน 1/3 (8–290 มิลลิออสโมล หรือ 0–11 ส่วนในพัน) พบว่า มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำ 3.6 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ (4 มิลลิโมล/ลิตร)

ส่วนที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน กุ้งจะอยู่ในสภาวะ hyperregulation แต่ปริมาณแมกนีเซียมในเลือดจะอยู่ในสภาวะ hypo-ionic สภาวะเช่นนี้ ความเข้มข้นของเลือดกุ้งจะสูงกว่าน้ำ แต่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมจากน้ำภายนอกจะสูงกว่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเลือดกุ้ง ดังนั้นจึงมีน้ำปริมาณมากแพร่เข้ามาในร่างกาย พร้อมกับปริมาณแมกนีเซียม ในสภาวะเช่นนี้กุ้งจะมีการปรับตัวโดยการลดขนาดเยื่อเลือกผ่าน เพื่อลดการสูญเสียน้ำและการแพร่เข้ามาของแมกนีเซียม และพยามขับแมกนีเซียมส่วนเกินออกจากร่างกาย (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) ส่วนปริมาณแมกนีเซียมในน้ำที่ลดลง น่าจะเกิดจากการที่ตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามนำแมกนีเซียมไปใช้ในการสร้างเปลือก และกระบวนการทางสรีระเคมี (ภาพที่ 51)



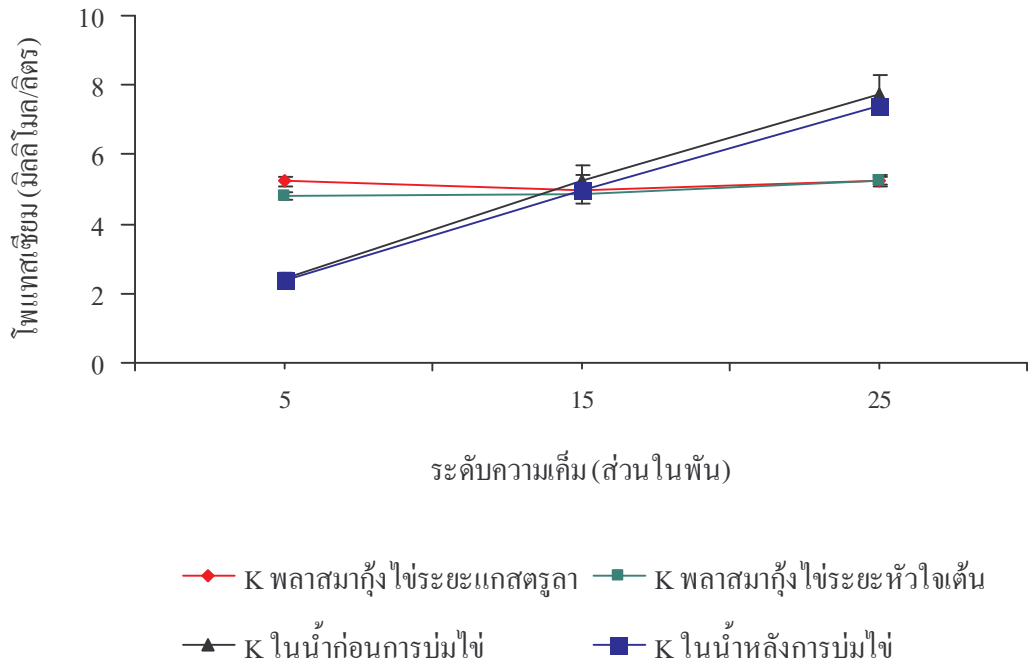
ภาพที่ 51 การควบคุมความเข้มข้นของแมกนีเซียม ในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน

2.2.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียม ในเลือดแม่กุ้งและน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่

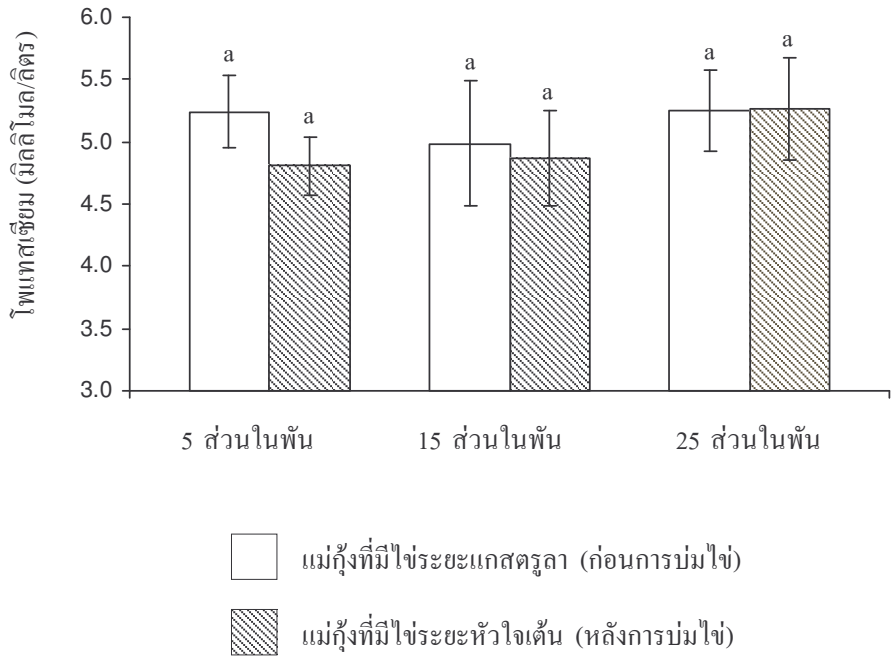
จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้ง ในขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในทุกระดับความเค็ม โดยมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ เท่ากับ 5.24 + 0.13 และ 4.81 + 0.12 มิลลิโมล/ลิตร ส่วนที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ เท่ากับ 4.99 $\pm$ 0.13 และ 4.87 $\pm$ 0.12 มิลลิโมล/ลิตร และที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เท่ากับ 5.24 $\pm$ 0.13 และ 5.26 $\pm$ 0.13 มิลลิโมล/ลิตร

ส่วนความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ในการบ่มไข่ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำทั้ง

ก่อน และหลังการบ่มไข่ พบว่า ไม่มีการลดลง ($P>0.05$) ในทุกระดับความเค็ม โดยที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน พบว่า น้ำทะเลเทียมที่ใช้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 2.43 $\pm$ 0.19 และ 2.35 $\pm$ 0.10 มิลลิโมล/ลิตร ส่วนที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่า น้ำทะเลเทียมที่ใช้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 5.24 $\pm$ 0.45 และ 5.00 $\pm$ 0.40 มิลลิโมล/ลิตร และ ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่า น้ำทะเลเทียมที่ใช้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 7.73 $\pm$ 0.56 และ 7.39 $\pm$ 0.17 มิลลิโมล/ลิตร นอกจากนี้ยัง พบว่าที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในเลือดแม่กุ้ง และในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่มีค่าเท่ากัน (iso-ionic point) ดัง ภาพที่ 52 และ 53



ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อน และหลังการบ่มไข่ ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน

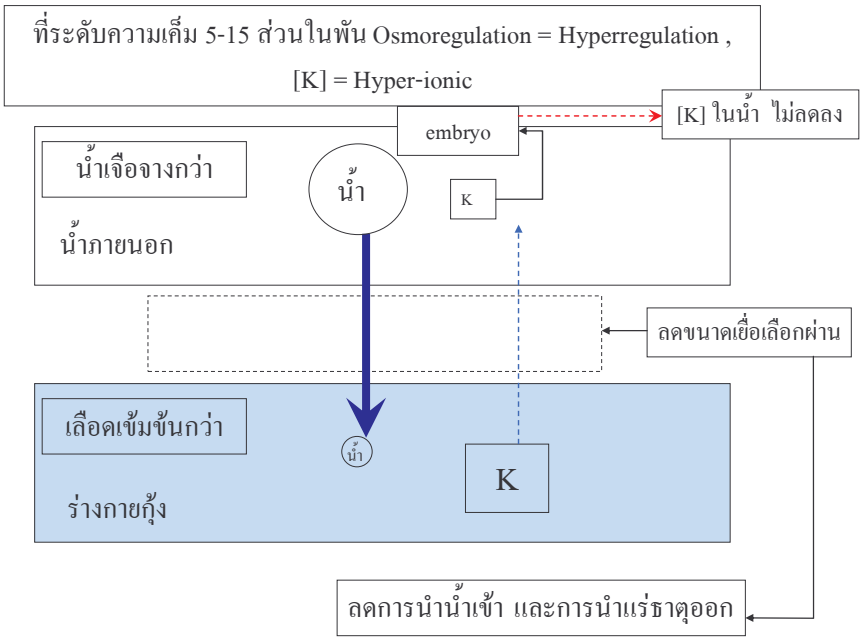


ภาพที่ 53 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น

จากการทดลอง พบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในเลือดแม่กุ้งและในน้ำที่ใช้บ่มไข่ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่จะลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจจะเป็นสาเหตุมาจากการที่ลูกกุ้งใช้โพแทสเซียมในน้ำไปบ้างในปริมาณที่ไม่มากพอที่ทำให้เกิดการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการทดสอบทางสถิติจึงพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ส่วนความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้ง พบว่า จะมีปริมาณสูงกว่าในน้ำทะเลเทียมที่ใช้อนุบาลที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน (hyper-ionic) ซึ่งที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันนั้นจะมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเลือดแม่กุ้งเท่ากับในน้ำ (iso-ionic point) จึงเป็นไปได้ว่าตัวอ่อนอาจจะได้รับแร่ธาตุจากน้ำบ้างเพียงเล็กน้อย เพื่อใช้ในพัฒนาการของตัวอ่อนเอง (Damrongphol *et al.,* 1990; 2001)

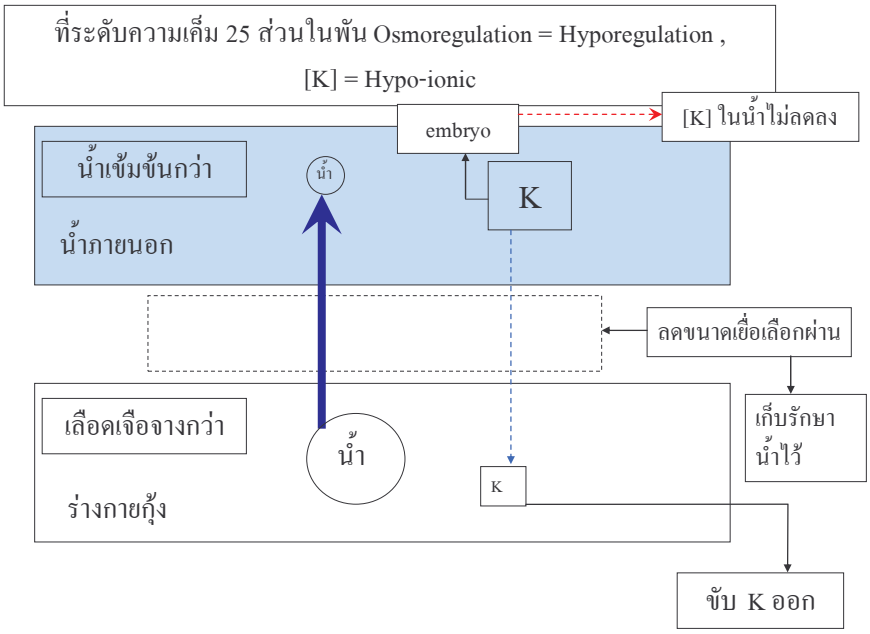
ที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน แม่กุ้งก้ามกรามจะอยู่ในสภาวะ hyper-regulation โดยมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาจะสูงกว่าในน้ำ ดังนั้นโพแทสเซียมจากในพลาสมาของแม่กุ้งก็แพร่ออกมาสู่ภายนอกด้วย ในขณะเดียวกันน้ำจากภายนอกก็จะแพร่เข้าสู่ตัวกุ้ง ดังนั้นกุ้งจึงมีการปรับตัวโดยการปรับลดขนาดของเยื่อเลือกผ่าน ทำให้ลดการแพร่เข้าของน้ำจาก

ภายนอก และลดการเข้าออกของโพแทสเซียมในร่างกาย (Pratoomchat *et al.*, 2002a) จากการที่มีปริมาณโพแทสเซียมแพร่ออกสู่น้ำภายนอกนั้น ทำให้ความเข้มของธาตุโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ไม่ลดลง กระบวนการที่เกิดขึ้นในช่วงระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน สามารถสรุปได้ดัง ภาพที่ 54



ภาพที่ 54 การควบคุมความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-15 ส่วนในพัน

ในทางตรงกันข้ามที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน แม่กุ้งจะอยู่ในสภาวะ hyporegulation ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาแม่กุ้ง จะต่ำกว่าในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ ปริมาณโพแทสเซียมที่อยู่ในน้ำจึงแพร่เข้ามาในตัวแม่กุ้ง ในขณะที่น้ำจากภายในตัวกุ้งก็จะแพร่ออกสู่ภายนอก ในสภาวะเช่นนี้แม่กุ้งก็จะมีการปรับตัวโดยลดขนาดของเยื่อเลือกผ่านเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และลดการแพร่เข้ามาของปริมาณโพแทสเซียมจากภายนอก จึงทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช่ในการบ่มไข่ไม่ลดลง (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) กระบวนการควบคุมที่เกิดขึ้นในช่วงระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 55



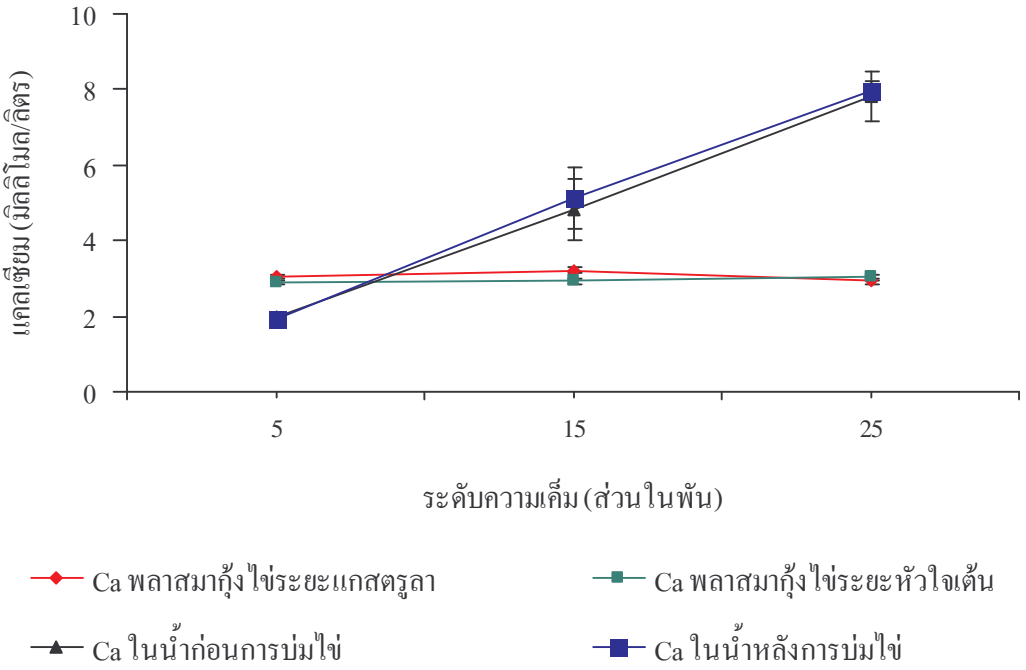
ภาพที่ 55 การควบคุมความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน

2.2.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมในเลือดแม่กุ้ง และน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่

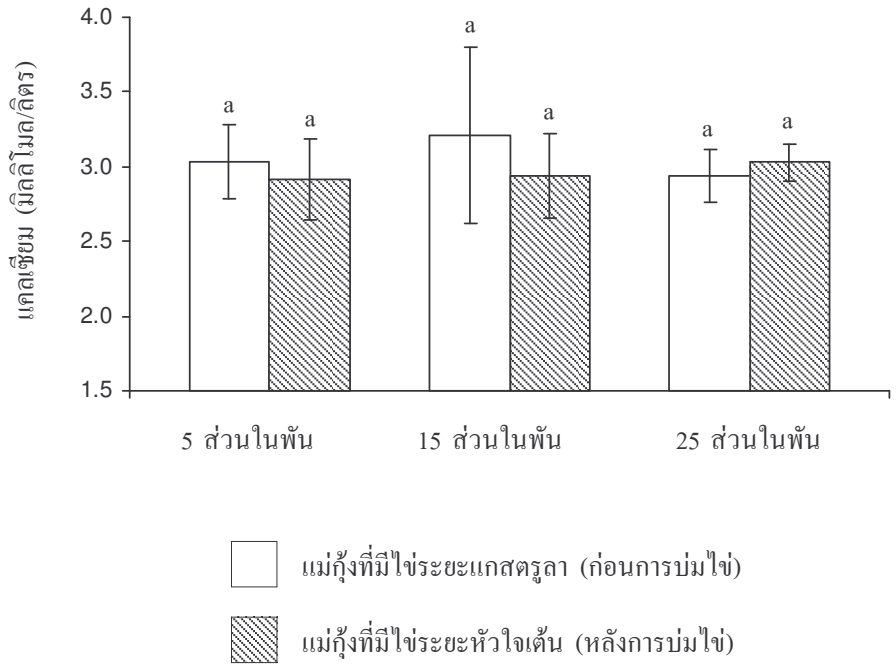
จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้ง ในขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในทุกระดับความเค็ม โดยพบว่า ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน มีความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 3.03 $\pm$ 0.08 และ 2.92 $\pm$ 0.07 มิลลิโมล ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่ามีความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 3.21 $\pm$ 0.08 และ 2.94 $\pm$ 0.07 และที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่ามีความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เท่ากับ 2.93 $\pm$ 0.07 และ 3.03 $\pm$ 0.08 มิลลิโมล/ลิตร

ส่วนความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมทั้งก่อน และหลังการบ่มไข่ไม่มีการลดลง (P>0.05) ในทุกระดับความเค็ม โดยที่ระดับความเค็ม

5 ส่วนในพัน มีความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 1.96 $\pm$ 0.04 และ 1.94 $\pm$ 0.16 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ เท่ากับ 4.82 $\pm$ 0.83 และ 5.13 $\pm$ 0.81 มิลลิโมล/ลิตร และที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เท่ากับ 7.82 $\pm$ 0.64 และ 7.95 $\pm$ 0.25 มิลลิโมล/ลิตร นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระดับความเค็มประมาณ 8 ส่วนในพัน จะมีความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดแม่กุ้งและในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่มีค่าเท่ากัน (iso-ionic point) และสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 56 และ 57

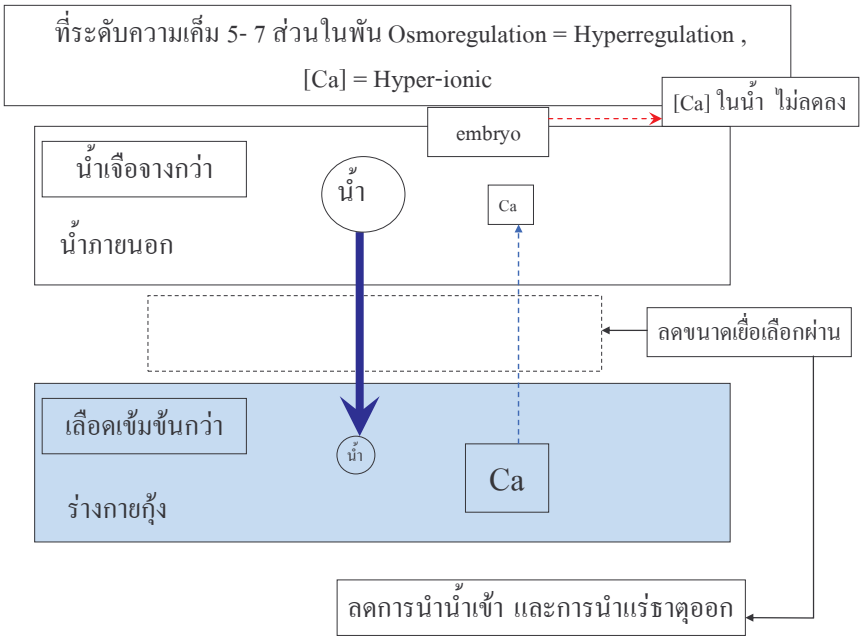


ภาพที่ 56 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน



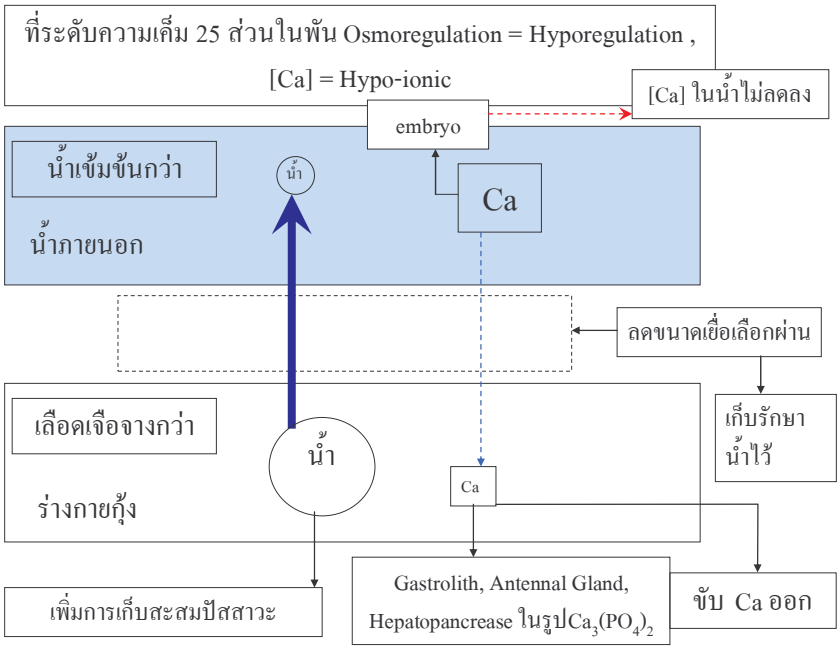
ภาพที่ 57 ความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น

จากการทดลอง พบว่าจุด isoionic ของแคลเซียมอยู่ที่ความเค็มประมาณ 7-8 ส่วนในพัน และที่ความเค็ม 5-7 ส่วนในพัน ความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาของแม่กุ้งจะสูงกว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำ ในขณะที่ความเข้มข้นของพลาสมาแม่กุ้งสูงกว่าน้ำที่อาศัยอยู่ ซึ่งเป็นสภาวะ hyperregulation ดังนั้นจึงมีแคลเซียมจากภายในร่างกายแพร่ออกสู่ภายนอก และมีน้ำจากภายนอกร่างกายแพร่เข้ามา ในสภาวะเช่นนี้กุ้งจะปรับตัวโดยการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่าน เพื่อลดปริมาณการนำแคลซียมออกจากร่างกาย และลดปริมาณน้ำที่เข้ามาภายในร่างกายด้วย (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) (ภาพที่ 58)



ภาพที่ 58 การควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-7 ส่วนในพัน

ส่วนที่ความเค็ม 25 ส่วนในพัน ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นตามความเค็มของน้ำ ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมา และที่ระดับความเค็มนี้แม่กุ้งจะอยู่ในสภาวะ Hyporegulation ดังนั้นน้ำภายในร่างกายก็จะแพร่ออก และแคลเซียมจากภายนอกก็จะแพร่เข้ามาในร่างกาย แม่กุ้ง จึงต้องปรับตัวโดยการเพิ่มการเก็บสะสมปัสสาวะเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และเพิ่มการเก็บสะสมแคลเซียมในรูปของ $Ca_3(PO_4)_2$ ในตับและตับอ่อน (hepatopan crease) และเพิ่มการสะสมแคลเซียมที่ แกสโตรลิธ (gasttrolith) และ ต่อมแอนเทนนอล พร้อมกับลดขนาดของเยื่อเลือกผ่านเพื่อลดการแพร่ของแคลเซียมเข้ามาในร่างกาย (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) (ภาพที่ 59)

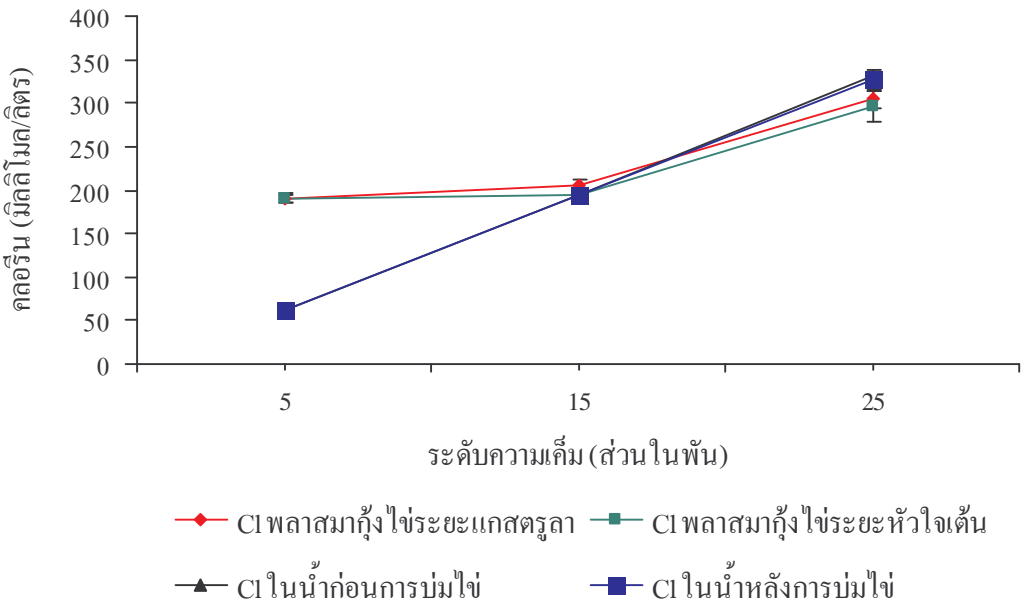


ภาพที่ 59 การควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน

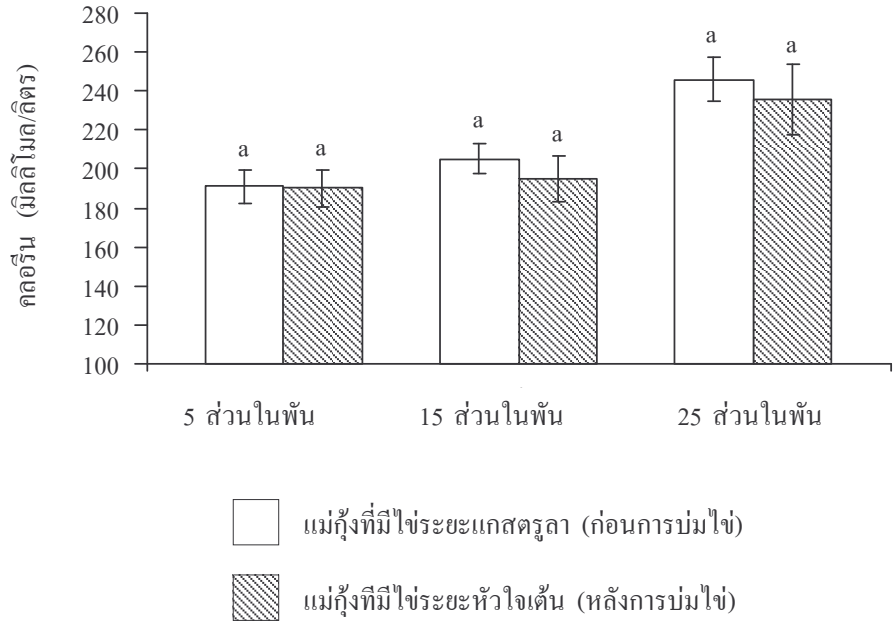
2.2.5 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของคลอรีนในเลือดแม่กุ้ง และน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่

จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของธาตุคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้ง ในขณะที่แม่กุ้งมีไข่ในระยะแกสตรูลา และแม่กุ้งมีไข่ระยะหัวใจเต้น ไม่มีความแตกต่างกัน(P>0.05) ในทุกระดับความเค็ม แต่ความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้งจะเริ่มสูงขึ้น ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน โดยมีความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้ง ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 191.10 $\pm$ 5.39 และ 190.16 $\pm$ 5.36 มิลลิโมล/ลิตรตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้งก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ 205.29 + 5.79 และ 194.73 + 5.49 มิลลิโมล/ลิตร และที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน พบว่า มีความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้งก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่ เท่ากับ 305.71 $\pm$ 11.32 และ 295.71 $\pm$ 17.95 มิลลิโมล/ลิตร นอกจากนี้ยัง พบว่า ความเข้มข้นของคลอรีนในเลือดแม่กุ้งจะมีค่า เท่ากับความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำที่ใช้บ่มไข่ที่ความเค็ม ประมาณ 17-18 ส่วนในพัน และความเข้มข้นของคลอรีนมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

ตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทั้งก่อน และหลังการบ่มไข่ไม่มีการลดลง(P>0.05)ในทุกระดับความเค็ม (ภาพที่ 60 และ 61)

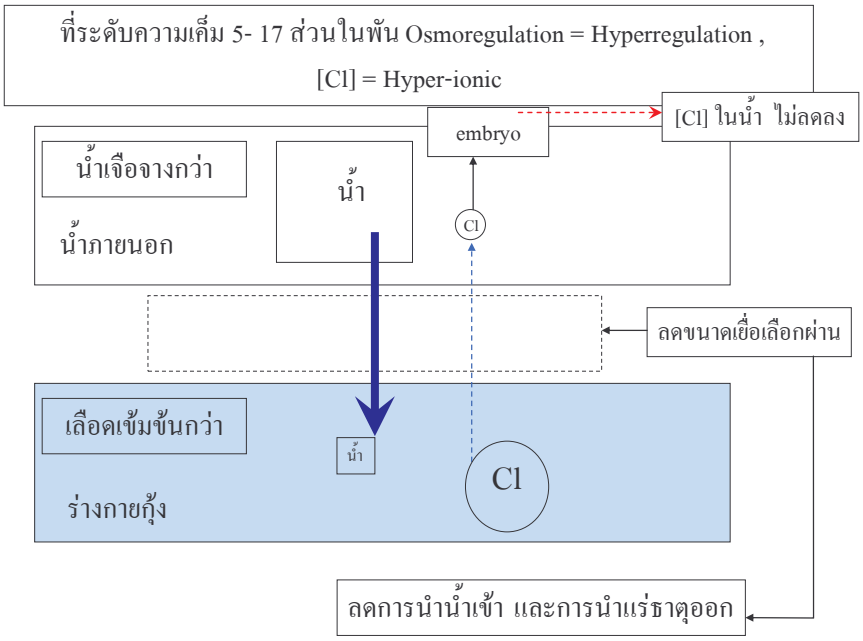


ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้งใน ขณะที่แม่กุ้งมีไข่ระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น กับความเข้มข้นของธาตุคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ก่อนและหลังการบ่มไข่ที่ความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน



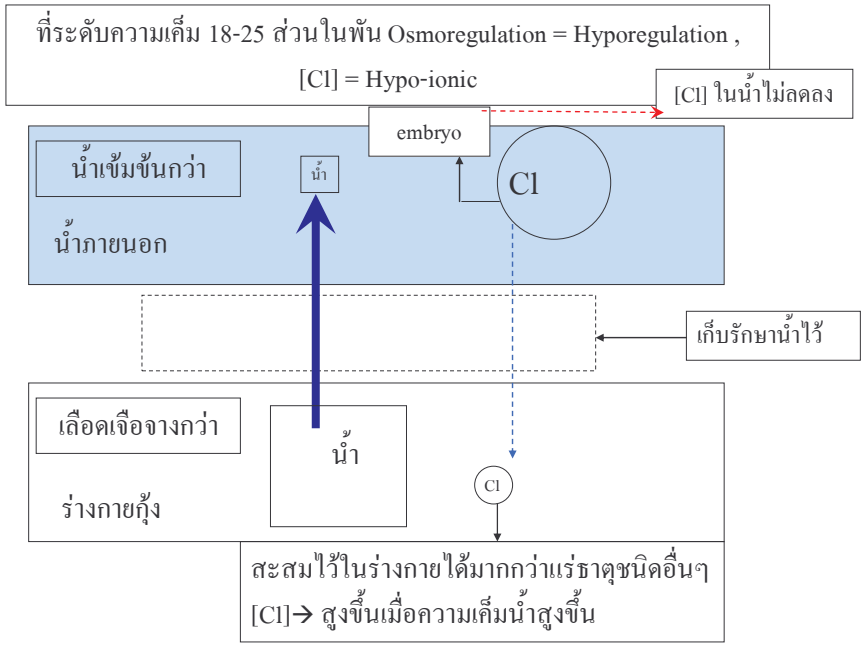
ภาพที่ 61 ความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้ง ที่ผ่านการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน จากไข่ระยะแกสตรูลา ถึงระยะหัวใจเต้น

ที่ระดับความเค็ม 5-17 ส่วนในพัน แม่กุ้งก้ามกรามจะอยู่ในสภาวะ hyperregulation และความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาก็จะสูงกว่าในน้ำ ดังนั้นจึงมีน้ำจากภายนอกร่างกายแพร่เข้ามาพร้อมกับ มีปริมาณคลอรีนภายในร่างกายแพร่ออกไปสู่น้ำภายนอก ในสภาวะเช่นนี้ แม่กุ้งจะมีการปรับตัวโดยการลดเยื่อเลือกผ่าน ทำให้การสูญเสียคลอรีนลดลง และลดการแพร่เข้ามาของน้ำจากภายนอก (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) (ภาพที่ 62)



ภาพที่ 62 การควบคุมความเข้มข้นของคลอรีนในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 5-17 ส่วนในพัน

จากการทดลองจะเห็นว่า ความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาของแม่กุ้งที่เลี้ยงในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน จะมีความเข้มข้นของคลอรีนใกล้เคียงกับน้ำภายนอก และเมื่อพิจารณาจากกราฟในภาพที่ 61 พบว่า ความเข้มข้นของคลอรีนในพลาสมาจะเท่ากันกับในน้ำที่ความเค็มประมาณ 17 ส่วนในพัน ซึ่งเป็นความเค็มที่ใกล้เคียงกันกับ isosmotic point สอดคล้องกับรายงานของ Singh (1980) ซึ่งได้รายงานว่า isosmotic point และ iso-ionic point ในกุ้งก้ามกรามนั้นเท่ากัน เมื่อกุ้งอยู่ในน้ำที่มีระดับความเค็ม 17.5 ส่วนในพัน ดังนั้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นมากกว่า 15 ส่วนในพัน จะเห็นว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในเลือดก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากการแพร่เข้ามาของคลอรีนจากน้ำภายนอก (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) (ภาพที่ 61) แต่ก็ยังรักษาระดับให้ต่ำกว่าปริมาณที่มีอยู่ในน้ำ (hypo-ionic) คลอรีนนั้นเป็นแร่ธาตุที่มีการเคลื่อนย้ายได้รวดเร็ว พบได้ทั้งในของเหลวทั้งภายใน และภายนอกเซลล์ และสามารถเก็บสะสมไว้ในร่างกายได้มากกว่าแร่ธาตุชนิดอื่นๆ จึงทำให้คลอรีนในพลาสมาสูงขึ้นตามความเค็ม (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547; บุญรัตน์ และคณะ, 2551) ซึ่งการควบคุมความเข้มข้นของคลอรีนในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 18-25 ส่วนในพัน สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 63



ภาพที่ 63 การควบคุมความเข้มข้นของคลอรีนในเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามในระยะ ที่มีไข่ติดหน้าท้องที่ระดับความเค็ม 18-25 ส่วนในพัน

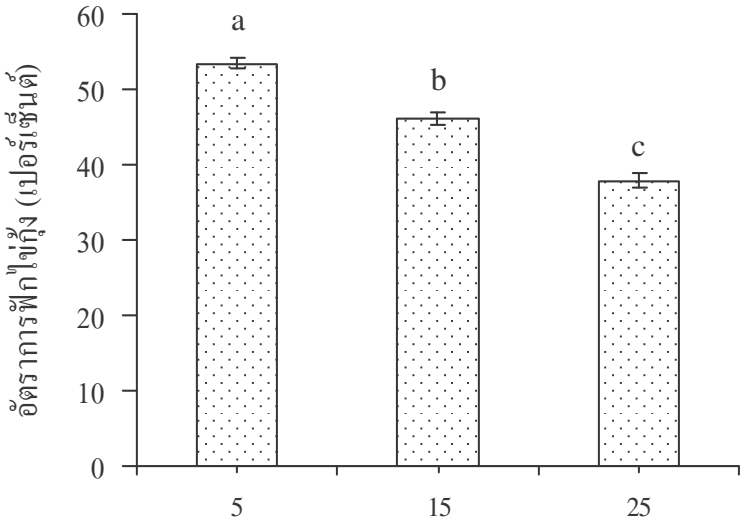
จากที่กล่าวมาแล้วนั้นมีความเป็นไปได้ว่า การอพยพเข้าไปในบริเวณน้ำกร่อย โดยเฉพาะ ในบริเวณที่มีความเค็มต่ำๆ ของแม่กุ้งก้ามกรามที่มีไข่ติดท้อง น่าจะมีสาเหตุจากการที่ในบริเวณนั้น มีปริมาณแร่ธาตุในเลือดแม่กุ้งเองใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้แม่กุ้งไม่ต้องใช้พลังงานในการรักษาสมดุลออสโมติกมากนัก (Singh, 1980) และในบริเวณน้ำกร่อยนี้ตัวลูกกุ้งเองก็ยังได้รับแร่ธาตุต่างๆ จากในน้ำด้วย เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (Ling and Merrican, 1961; ชลอ และคณะ, 2547; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) ซึ่งแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำจะส่งผลในการฟักไข่ของกุ้งก้ามกรามอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในการทดลองถัดไป

2.3 ผลของระดับความเค็มที่ใช้ในการบ่มไข่ต่ออัตราการฟักไข่กุ้งก้ามกราม

จากการบ่มไข่แม่กุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่มีระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน พบว่า เมื่อตัวอ่อนในระยะคัพภะได้มีพัฒนาการมาจนถึงระยะหัวใจเต้นแล้ว (พร้อมที่

จะฟักออกมาเป็นลูกกุ้งที่มีพัฒนาการในระยะที่ 1) จึงนำแม่กุ้งที่ไดจากการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียม ที่มีระดับความเค็มต่างๆ กันมาทำการฟักไข่ในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

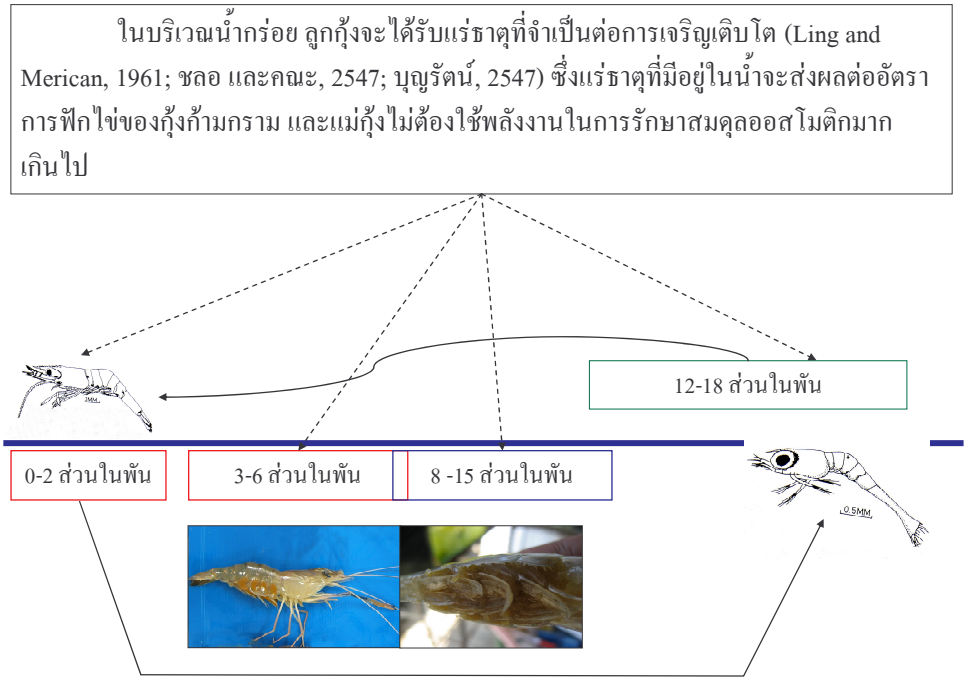
จากผลการทดลองพบว่า แม่กุ้งที่ทำการบ่มไข่ในน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียม ที่ความเค็ม 5 ส่วนในพันมีอัตราการฟักของไข่มากกว่าแม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำเค็ม 15 ส่วนในพัน (P<0.05) และแม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำเค็ม 15 ส่วนในพันมีอัตราการฟักของไข่มากกว่าแม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำเค็ม 25 ส่วนในพัน (P<0.05) โดยมีอัตราการฟักไข่ 53.40 $\pm$0.69 46.09 $\pm$ 0.91 และ 37.92 $\pm$ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับดัง ภาพที่ 64



ภาพที่ 64 อัตราการฟักไข่ของกุ้งก้ามกรามที่บ่มไข่ในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน (ดูตารางผนวกที่ 10 ประกอบ)

อัตราการฟักไข่ของกุ้งก้ามกรามที่บ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน จะสูงกว่า ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน และที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน (P<0.05) และอัตราการฟักไข่ของแม่กุ้งก้ามกรามที่ทำการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่าสูงกว่าที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน (P<0.05) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ ไพโรจน์ และทรงชัย (2513) ที่รายงานว่า แม่กุ้งที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็มในช่วง 3-6 ส่วนในพัน มีอัตราการฟักไข่ 58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอัตราการที่ใกล้เคียงกับการทดลองนี้ที่มีอัตราการฟักไข่ของแม่กุ้งที่บ่ม

ไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน โดยมีอัตราการฟักไข่ 53.40 เปอร์เซ็นต์ และยังสอดคล้องกันกับรายงาน ของ New (1990) ซึ่งระบุว่า แม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้องที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพันและความเค็มที่ต่ำกว่านั้นจะมีอัตราการฟักไข่สูงขึ้น ทั้งนี้เพราะลูกกุ้งในระยะคัพภะ ระยะที่อยู่ในไข่นั้น) ได้รับแร่ธาตุที่จำเป็นจากน้ำทำให้มีพัฒนาการที่ดี โดยเฉพาะการได้รับแร่ธาตุแมกนีเซียมก็ทำให้ลูกกุ้งสามารถนำไปใช้ในการสร้างเปลือก (ชลอ และคณะ, 2547; บุญรัตน์, 2547; Pratoomchat, 2002) ทำให้น้ำที่ใช้ในการบ่มไข่มีปริมาณแมกนีเซียมลดลง ส่วนโซเดียม โพแทสเซียม และคลอรีน เป็นแร่ธาตุที่ลูกกุ้งนำไปใช้ในระบบควบคุมสมดุลออสโมติก และใช้เป็นองค์ประกอบในเลือด (บุญรัตน์ และคณะ, 2547) จากที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้ สรุปการอพยพของแม่กุ้งก้ามกรามเพื่อวางไข่ได้ดัง ภาพที่ 65



ภาพที่ 65 ระดับความเค็มของน้ำและการอพยพของกุ้งก้ามกรามในการวางไข่

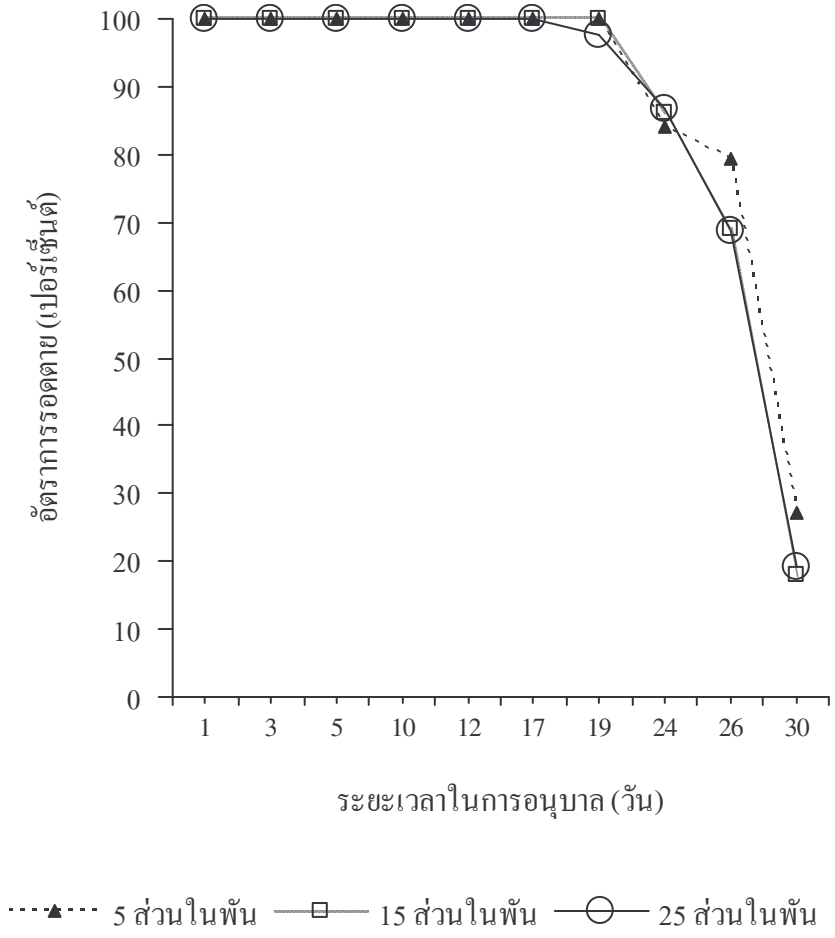
3. การศึกษาผลของระดับความเค็มในการบ่มไข่ต่ออัตราการรอดและพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน และการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ในการอนุบาลในระบบปิด

การทดลองที่ 3 นี้เป็นการนำลูกกุ้งที่ได้จากแม่กุ้งที่ทำการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน แล้วนำไข่ไปฟักในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน จากนั้นจึงนำลูกกุ้งที่มีพัฒนาการในระยะที่ 1 ที่ฟักออกจากไข่ของแม่กุ้งที่บ่มไข่ในแต่ละระดับความเค็มไปอนุบาลต่อในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยทำการอนุบาลในกระชังผ้าที่มีขนาดความถี่ของตาข่าย 80 ไมครอน ซึ่งอยู่ในตู้กระจกที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดและมีความจุ 50 ลิตร ทำการอนุบาลลูกกุ้งตั้งแต่มีระยะพัฒนาการในระยะที่ 1 จนถึงระยะโพสลาวาทุกตัว ในระหว่างที่ทำการอนุบาลมีการเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละตู้ทดลอง นำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด คือ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน เพื่อศึกษาว่าลูกกุ้งก้ามกรามใช้แร่ธาตุชนิดใด จากน้ำที่ใช้ในการอนุบาล ในระหว่างที่ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามมีการตรวจวัดคุณภาพของน้ำ ที่ใช้ในการอนุบาล และตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งทุกวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง จึงทำการนับจำนวนลูกกุ้งในระยะโพสลาวาที่ได้จากการอนุบาล เพื่อนำไปคำนวณอัตราการรอดตาย ซึ่งพบว่า มีผลการทดลองดังนี้

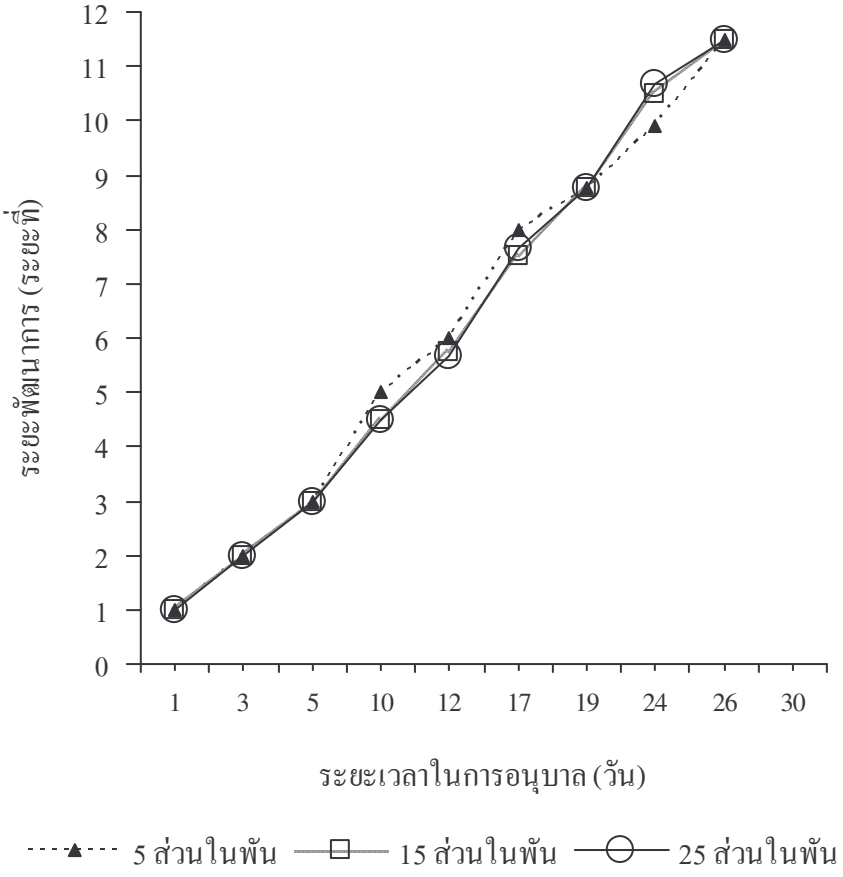
3.1 อัตราการรอดและระยะพัฒนาการของลูกกุ้งที่ฟักจากไข่ทำการบ่มในน้ำทะเลเทียมที่มีระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน

จากผลการทดลอง พบว่า ลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้มาจากการฟักไข่ของแม่กุ้งที่บ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีอัตราการรอดตาย และระยะของพัฒนาการที่ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) โดยลูกกุ้งที่ได้จากการบ่มไข่ที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 1-17 ของการอนุบาล ในวันที่ 19 ของการอนุบาลลูกกุ้ง ที่ได้จากการบ่มไข่ที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีอัตราการรอดตาย 100 100 และ 97.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (P>0.05) ในวันที่ 24 ของการอนุบาลลูกกุ้งที่ได้จากการบ่มไข่ที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีอัตราการรอดตาย 84.00 $\pm$ 27.71 86 $\pm$ 8.49 และ86.67 $\pm$ 8.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (P>0.05) ส่วนในวันที่ 26 ของการอนุบาลลูกกุ้งที่ได้จากการบ่มไข่ที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีอัตราการรอดตาย 79.33 $\pm$ 17.93 69.00 $\pm$ 4.24 และ 68.67 $\pm$ 6.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (P>0.05) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 30 ของการอนุบาลพบว่าลูกกุ้งที่ได้จากการบ่มไข่ที่ 5 15 และ 25

ส่วนในพัน มีอัตราการรอดตาย 27.04 $\pm$ 4.14 18.13 $\pm$ 2.02 และ 19.23 $\pm$ 1.02 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05) หรือมีอัตราการรอดตายในช่วง 18-27 เปอร์เซ็นต์ (14-22 ตัว/ลิตร) อัตราการรอดตายของลูกกุ้งในการทดลองนี้ จะเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 19 ของการอนุบาลเป็นต้นไปจนสิ้นสุดการทดลอง ในการทดลองนี้มีพัฒนาการของลูกกุ้งที่ไม่แตกต่างกัน โดยเริ่มมีพัฒนาการอยู่ในระยะโพสลาวาในวันที่ 26 ของการอนุบาลในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 66 และ 67)



ภาพที่ 66 อัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่ของแม่พันธุ์ที่ทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน นำมาอนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันเป็นเวลา 30 วัน (ดูตารางผนวกที่ 3 ประกอบ)



ภาพที่ 67 ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่ของแม่พันธุ์ที่ทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน นำมาอนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันเป็นเวลา 30 วัน

ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการฟักไข่ที่ทำการบ่มในน้ำ ที่มีระดับความเค็มที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ พบว่า ลูกกุ้งในแต่ละชุดการทดลองนั้นมีอัตราการรอดตาย และระยะพัฒนาการไม่แตกต่างกัน โดยมีอัตราการรอดตาย 18-27 เปอร์เซ็นต์ (14-22 ตัว/ลิตร) ซึ่งอัตราการรอดตายในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบน้ำเค็มหมุนเวียนแบบปิด ในการทดลองนี้ไม่ได้มีอัตราการรอดตายที่ต่ำจนเกินไป เมื่อเทียบกับการทดลองอื่นๆ ซึ่งได้ทำการอนุบาลในระบบปิด หรือระบบที่มีการเปลี่ยนน้ำในปริมาณที่น้อยมากเป็นบางส่วน ซึ่งได้เขียนวิจารณ์ไปแล้วในส่วนผลการทดลองที่ 1 (Tansakul, 1983; Menasveta and Piyatiratitivorakul, 1980; Ang, 1996)

3.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาล

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียม

จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแร่ธาตุโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่มีพัฒนาการในระยะที่ 1 จนลูกกุ้งมีพัฒนาการในระยะโพสลาวาทุกตัวในตู้ขนาด 50 ลิตร ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดในช่วงระยะเวลา 30 วัน ในการอนุบาล เมื่อนำผลการวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว พบว่าความเข้มข้นของแร่ธาตุโซเดียมมีการลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 68) โดยปริมาณโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีการลดลงดังสมการที่ 1 2 และ3 ตามลำดับ ดังนี้ (เมื่อ y = ปริมาณโซเดียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล และ x = จำนวนวันที่ใช้ในการอนุบาล)

$$y = -1.3531x + 210.9000 \quad (1)$$

$$y = -0.9011x + 206.5300 \quad (2)$$

$$y = -2.0497x + 231.9400 \quad (3)$$

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแมกนีเซียม

จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแร่ธาตุแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดในช่วงระยะเวลา 30 วัน เมื่อมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว พบว่าแมกนีเซียมมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 69) โดยปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ 5, 15 และ 25 ส่วนในพัน มีการลดลงดังสมการที่ 4 5 และ6 ตามลำดับ ดังนี้ (เมื่อ y = ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล และ x = จำนวนวันที่ใช้ในการอนุบาล)

$$y = -0.2941x + 23.2710 \quad (4)$$

$$y = -0.1870x + 20.2060 \quad (5)$$

$$y = -0.2828x + 23.9870 \quad (6)$$

3.2.3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพแทสเซียม

ส่วนการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแร่ธาตุโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว พบว่า โพแทสซียมมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 70) โดยที่ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่ได้จากการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีการลดลงดังสมการที่ 7 8 และ9 ตามลำดับ ดังนี้ (เมื่อ y = ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล และ x = จำนวนวันที่ใช้ในการอนุบาล)

$$y = -0.0249x + 5.2417 \quad (7)$$

$$y = -0.0138x + 5.0732 \quad (8)$$

$$y = -0.0195x + 5.0046 \quad (9)$$

3.2.4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแคลเซียม

แต่ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแร่ธาตุแคลเซียมในน้ำ ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น เมื่อนำผลมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมไม่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 71) แต่ก็มีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณลดลงโดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ 10 11 และ 12 ซึ่งมีค่าเป็นลบในทุกสมการ ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการอนุบาล ดังสมการที่ 10 11 และ12 ตามลำดับ ดังนี้ (เมื่อ y = ปริมาณแคลเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล และ x = จำนวนวันที่ใช้ในการอนุบาล)

$$y = -0.0060x + 6.0287 \quad (10)$$

$$y = -0.0056x + 5.5965 \quad (11)$$

$$y = 0.0002x + 5.8167 \quad (12)$$

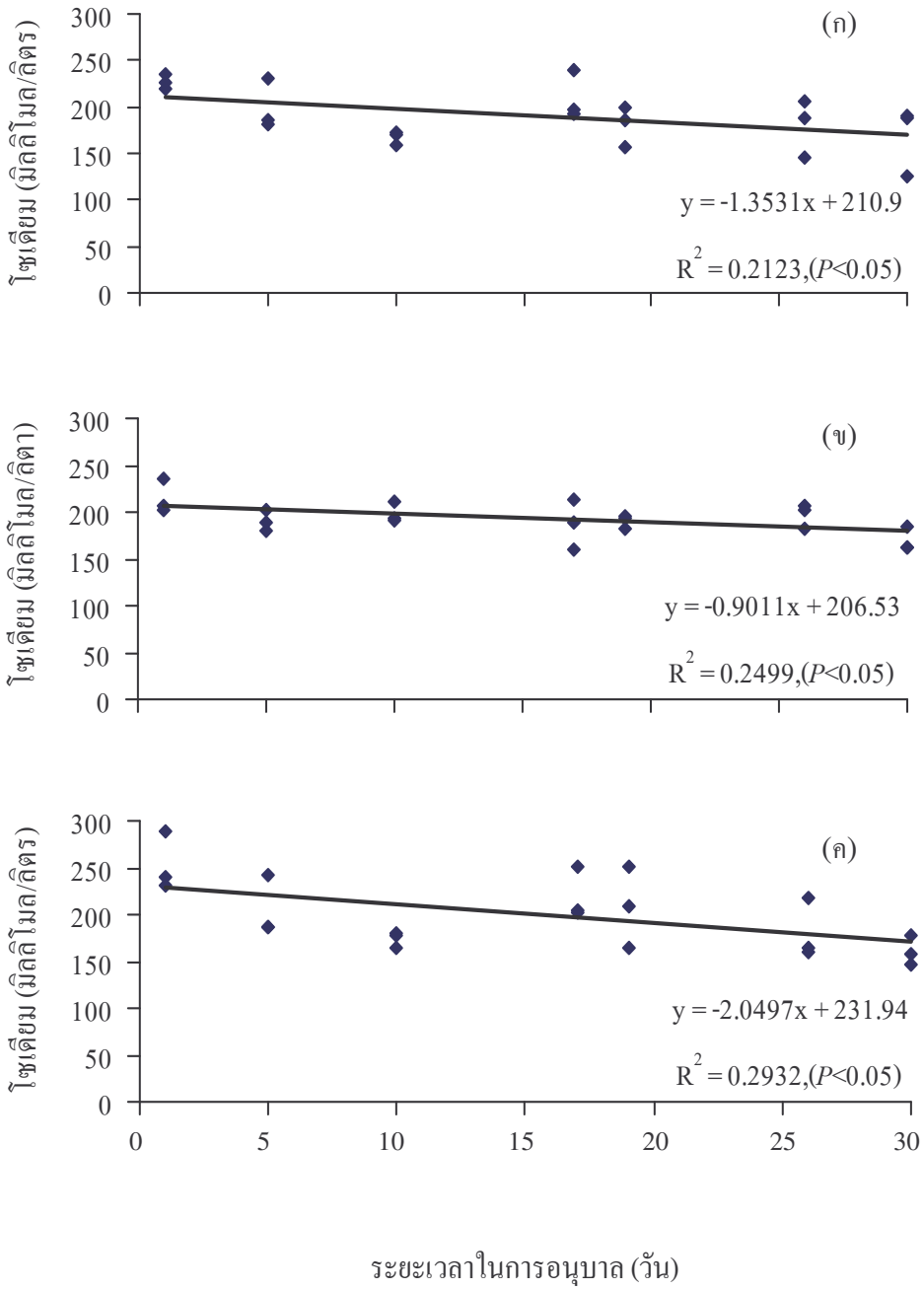
3.2.5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคลอรีน

และในส่วนของปริมาณแร่ธาตุคลอรีนในน้ำ ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression) และวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ไม่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 72) แต่ก็มีแนวโน้มว่าจะมีความเข้มข้นมากขึ้น เมื่อดูจากค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ 13 14 และ 15 ซึ่งมีค่าเป็นบวกในทุกสมการ ความเข้มข้นของคลอรีน ที่มีแนวโน้มจะว่าเพิ่มขึ้นนั้นน่าจะเนื่องมาจากการระเหยไปบ้างของน้ำในตู้ทดลอง ซึ่งมีปริมาณที่น้อยมากเนื่องจากการปิดฝาตู้ทดลองไว้เพื่อกันน้ำระเหย ปริมาณของธาตุคลอรีนในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการอนุบาลดังสมการที่ 13 14 และ15 ตามลำดับดังนี้ (เมื่อ y = ปริมาณคลอรีนในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล และ x = จำนวนวันที่ใช้ในการอนุบาล)

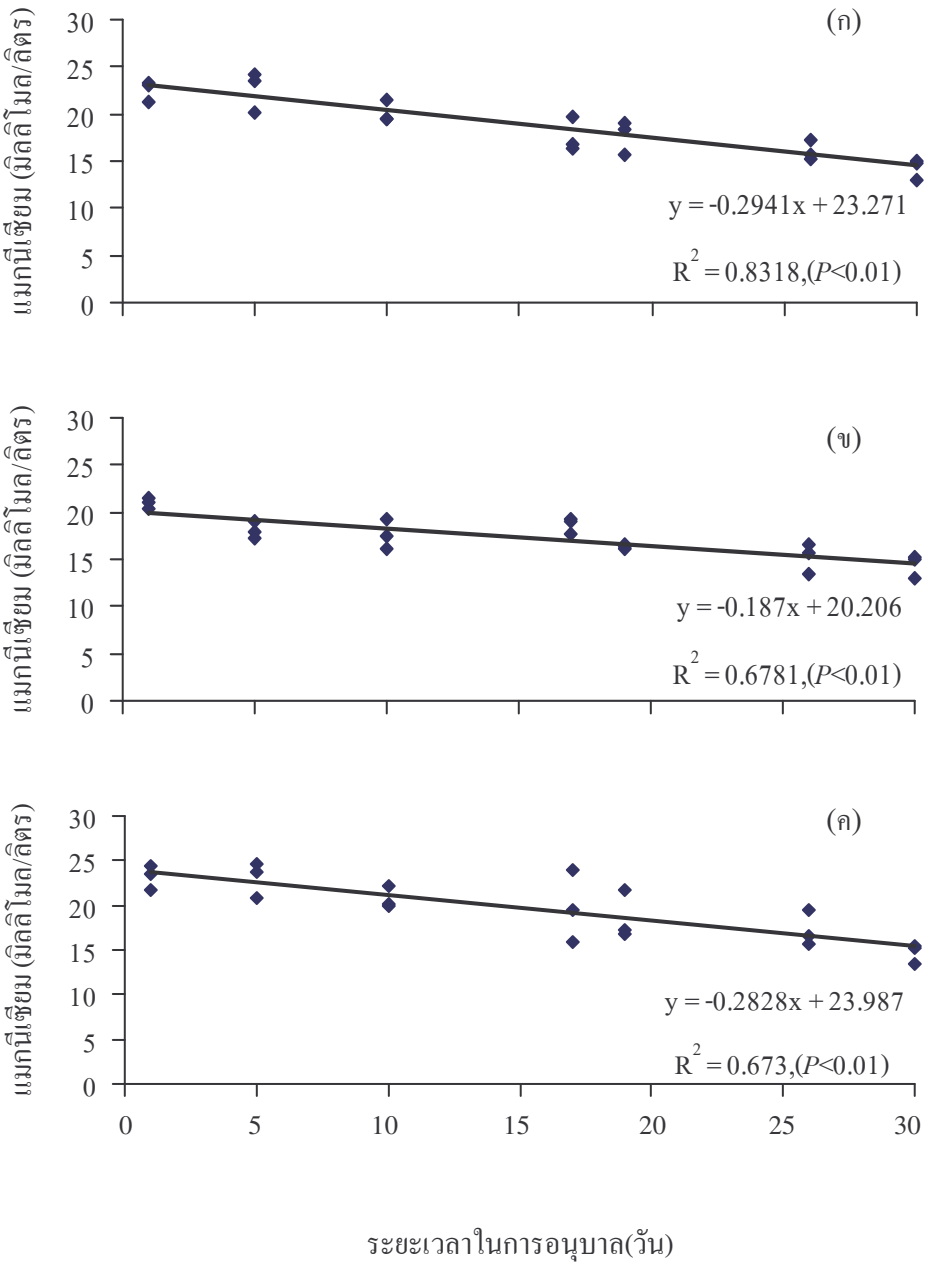
$$y = 0.1162x + 234.4900 \quad (13)$$

$$y = 0.1478x + 243.1700 \quad (14)$$

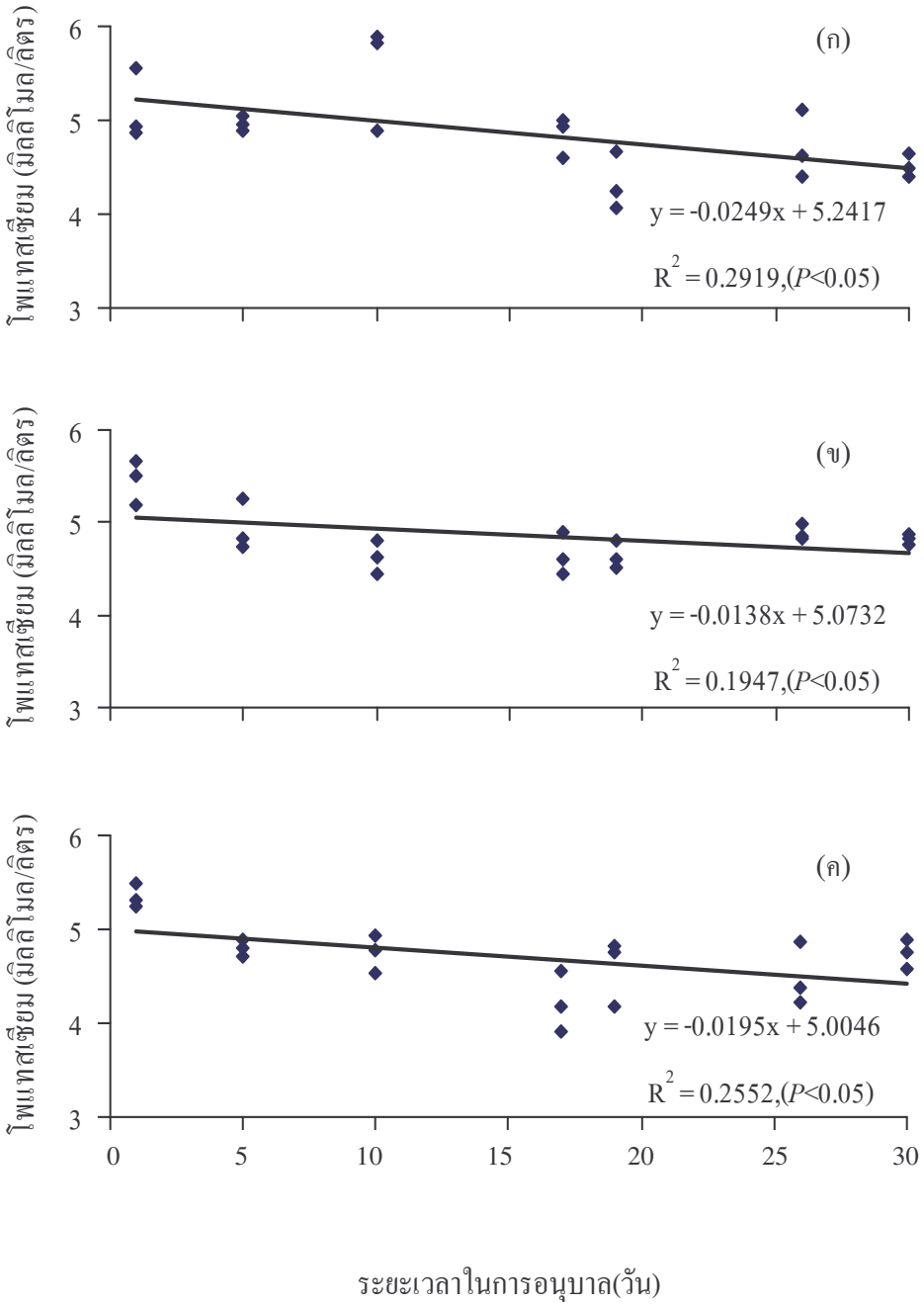
$$y = 0.1061x + 228.9200 \quad (15)$$



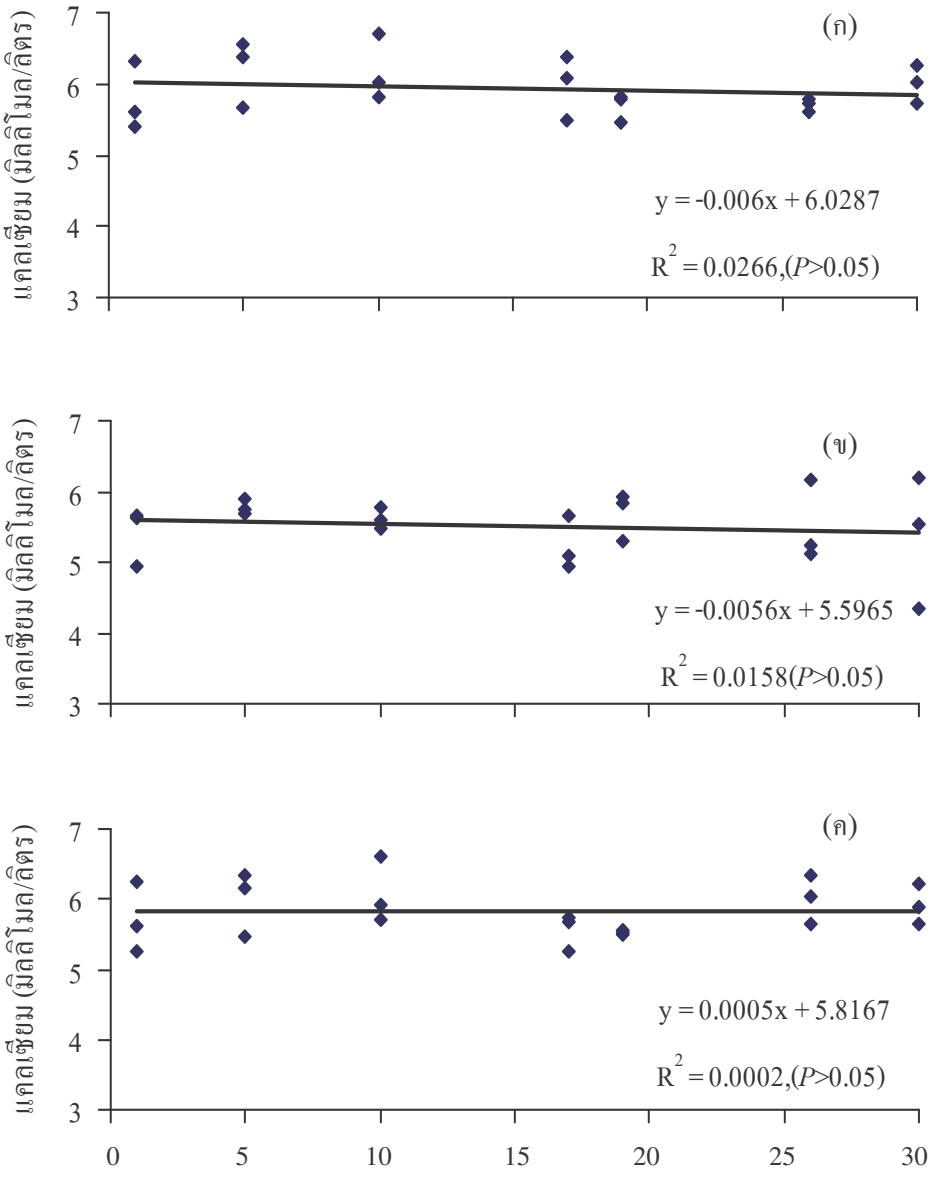
ภาพที่ 68 ความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ 25 ส่วนในพัน (ค) (ดูตารางผนวกที่ 11 12 และ 13 ประกอบ)



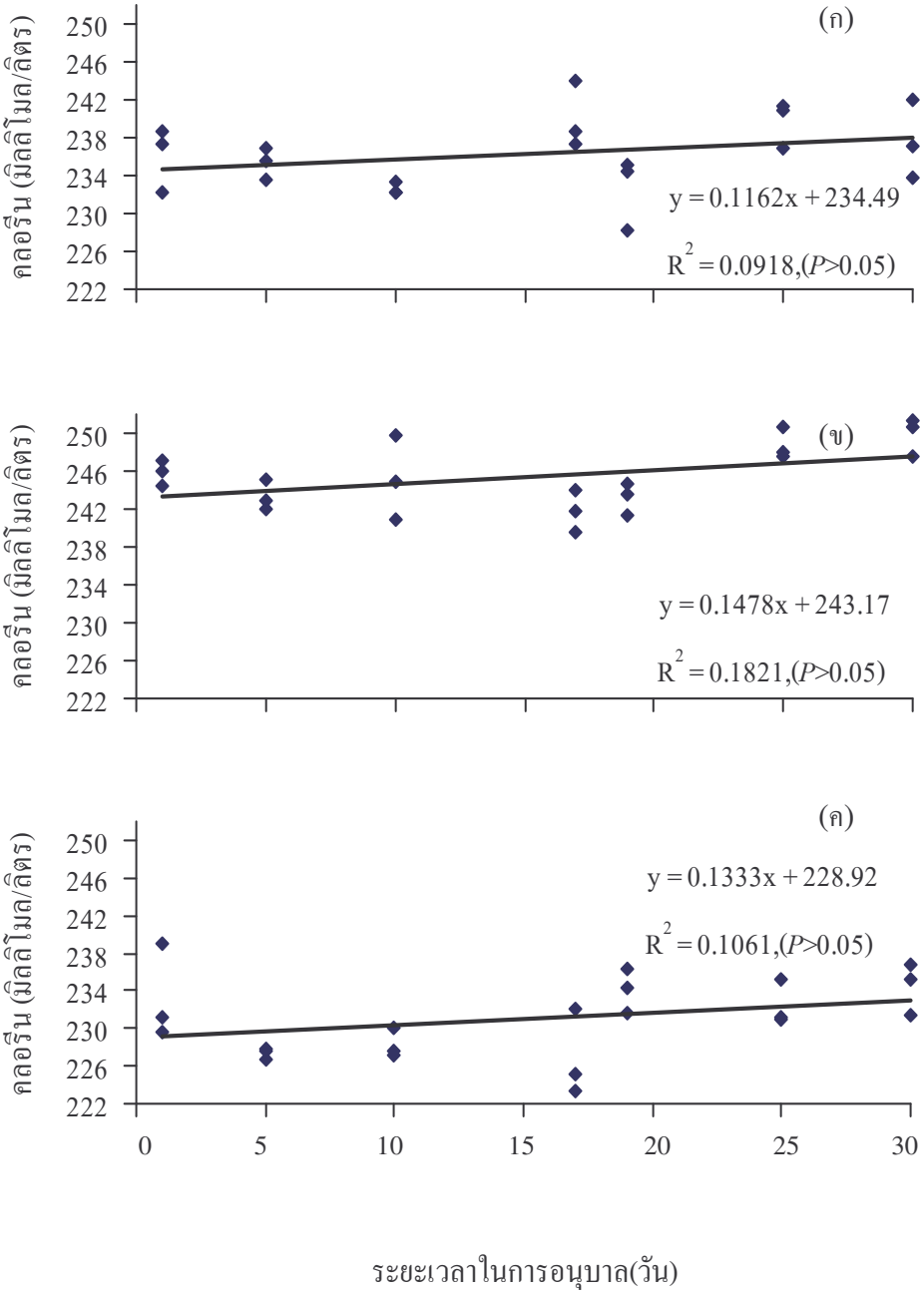
ภาพที่ 69 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ 25 ส่วนในพัน (ค) (ดูตารางผนวกที่ 14 15 และ 16 ประกอบ)



ภาพที่ 70 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน(ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ25 ส่วนในพัน(ค) (ดูตารางผนวกที่ 17 18 และ 19 ประกอบ)

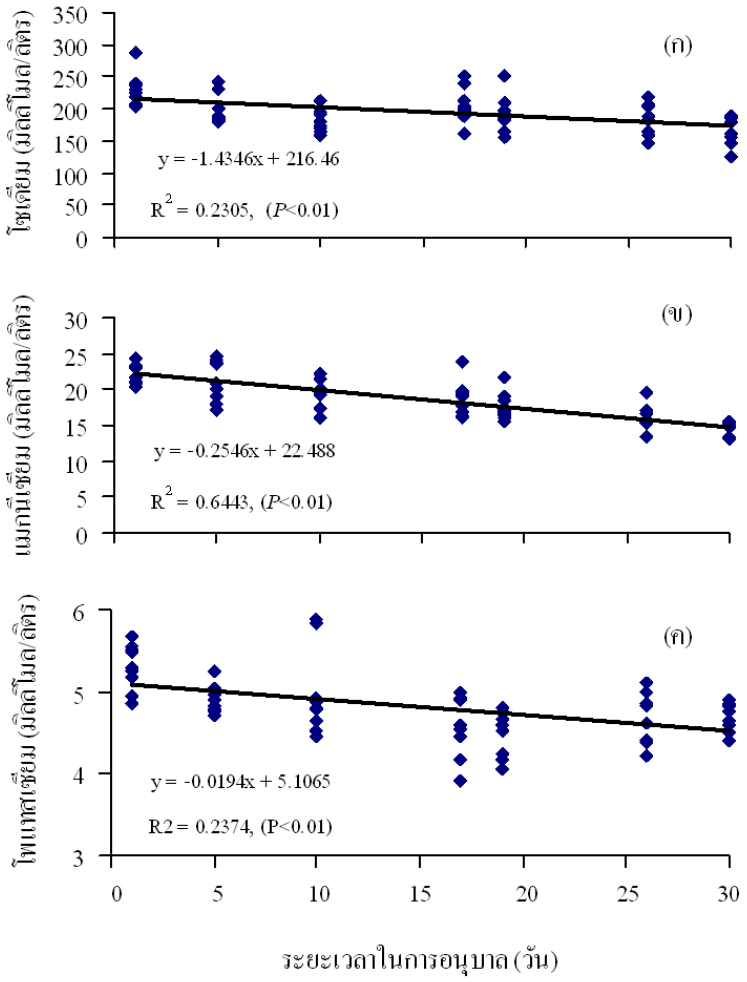


ภาพที่ 71 ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิดที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน (ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ 25 ส่วนในพัน(ค) (ดูตารางผนวกที่ 20 21 และ 22 ประกอบ)



ภาพที่ 72 ความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในตู้ทดลองที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการฟักไข่แม่กุ้งที่บ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 ส่วนในพัน (ก) 15 ส่วนในพัน (ข) และ25 ส่วนในพัน (ค) (ดูตารางผนวกที่ 23 24 และ 25 ประกอบ)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมมีการลดลงอย่างรวดเร็วที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ (P<0.01) ในขณะที่โซเดียม และโพแทสเซียมนั้นก็ลดลงเช่นกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (P<0.05) แร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้ พบว่า มีการลดลงในทุกชุดการทดลอง และถ้าหากนำปริมาณของแร่ธาตุในน้ำทั้ง 3 ชุดการทดลองมารวมกัน แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิเคราะห์ความแปรปรวนจะพบว่าแร่ธาตุ แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นถึง 99% (P<0.01) (ภาพที่ 73)



ภาพที่ 73 การลดลงของความเข้มข้น โซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในระบบการไหลเวียนแบบปิด

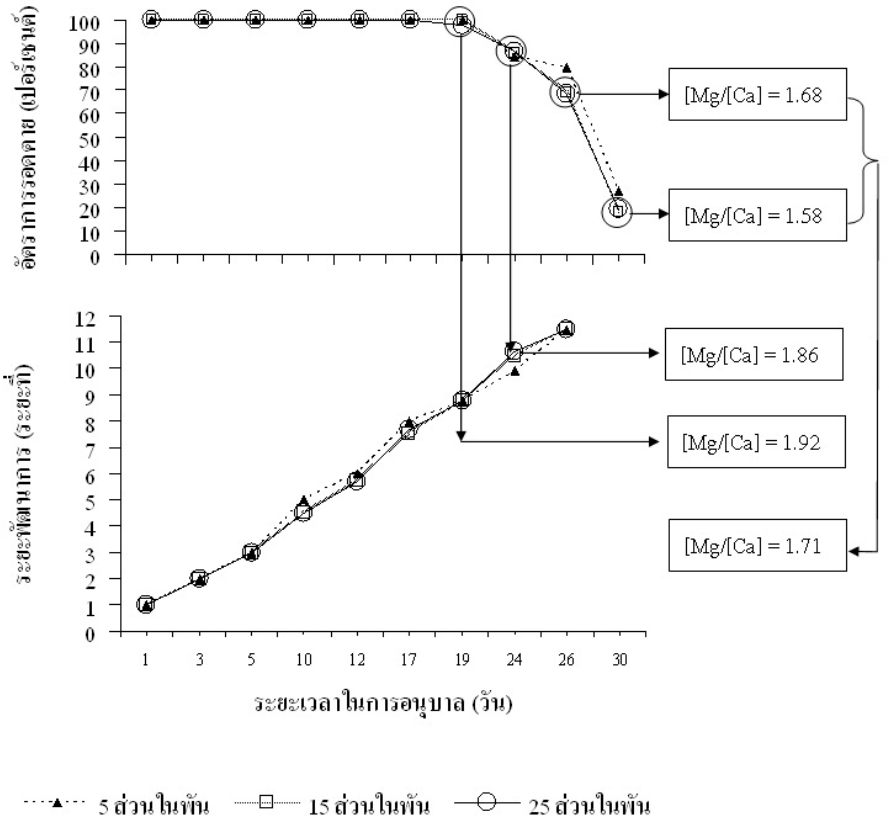
แร่ธาตุแมกนีเซียม เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างเปลือกและเนื้อเยื่อ และยังเกี่ยวข้องกับการควบคุมความต่างศักย์ของเนื้อเยื่อ (membrane potential) อีกด้วย (บุญรัตน์ และคณะ, 2546) แต่กุ้งก็ต้องรักษาระดับของแมกนีเซียมในเลือดให้ต่ำกว่าในน้ำภายนอก โดยใช้ต่อมแอนเทนนอล (ประจวบ, 2537; Mantel, 1983) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้อย่างสูงว่าลูกกุ้งก้ามกรามนั้น ได้รับปริมาณแมกนีเซียมส่วนใหญ่มาจากในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองที่มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมการลดลงอย่างรวดเร็ว

ในการลดลงของแร่ธาตุในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลนั้น ทำให้อัตราการตายของลูกกุ้งนั้นมีมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากอัตราการตายที่สูงขึ้นเมื่อการอนุบาลผ่านไป 19 วัน ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากการลดลงของแร่ธาตุ โซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในน้ำ ที่ใช้ในการอนุบาลซึ่งเป็นผลจากการที่ลูกกุ้ง ต้องการใช้แร่ธาตุแมกนีเซียมไปใช้ในการสร้างเปลือกเนื้อเยื่อ และระบบประสาท (จักรตุพร, 2536; Pratoomchat, 2002) ในขณะที่แร่ธาตุโพแทสเซียมและโซเดียมมีความสำคัญต่อระบบ osmoregulation และ membrane potential (จักรตุพร, 2536)

นอกจากนี้ Zang et al. (1995) ยังได้รายงานว่าอิออน Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, Br^{-}, HCO_3^{-} และ SO_4^{2-} เป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม และยังได้แนะนำว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของอิออน Mg^{2+}/ Ca^{2+} น่าจะอยู่ระหว่าง 1.8-2.0 ซึ่งในการทดลองนี้ในระหว่างวันที่ 20-30 ของการทดลองนั้นพบว่า มีอัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุ Mg/ Ca เท่ากับ 1.68-1.58 ซึ่งต่ำกว่าที่ Zang, *et al.* (1995) ได้ระบุไว้ ดังนั้นอัตราการรอดตายที่ลดลงน่าจะมีผล มาจากการที่อัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุ Mg/ Ca ในน้ำที่ใช้อนุบาลลดลง (ตารางที่ 24 และภาพที่ 74)

ตารางที่ 24 อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น (เฉลี่ยจากทุดชุดการทดลอง) ของแมกนีเซียมต่อแคลเซียมในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่มีระบบการไหลเวียนแบบปิด ในช่วงวันที่ 17-30 ของการอนุบาล

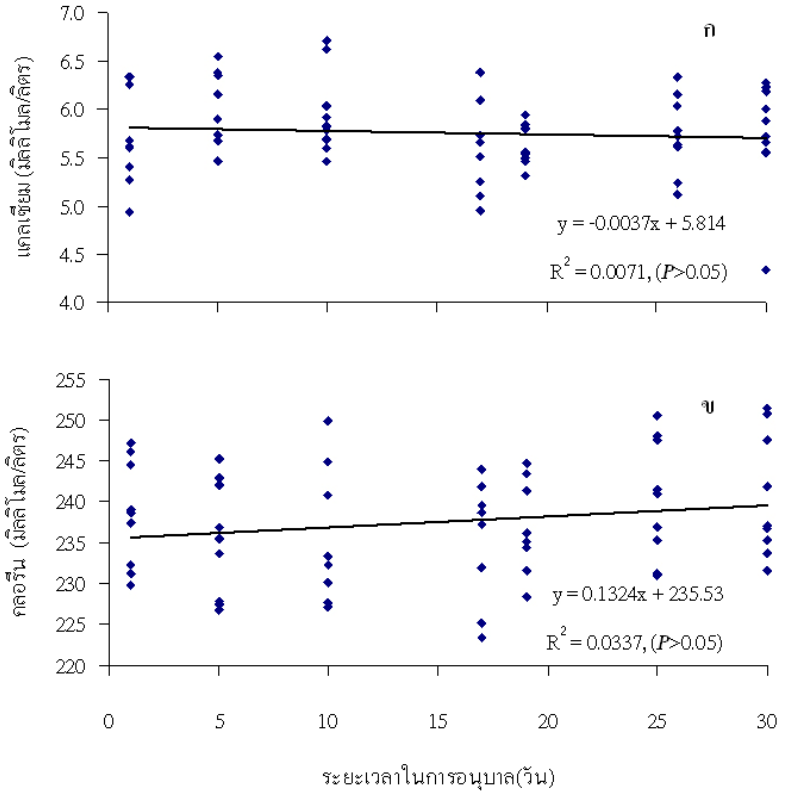
วันที่ในการอนุบาล	อัตราส่วนความเข้มข้นของแร่ธาตุ Mg/Ca
17	1.92
19	1.86
26	1.68
30	1.58



ภาพที่ 74 อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น (เฉลี่ยจากทุกชุดการทดลอง) ของแมกนีเซียมต่อแคลเซียมในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่มีระบบการไหลเวียนแบบปิดในช่วงวันที่ 17-30 ของการอนุบาล

ในส่วนของแร่ธาตุชนิดอื่นๆ ในการทดลองนี้ ที่นอกเหนือจากแร่ธาตุแมกนีเซียมแล้ว จากการทดลองพบว่าลูกกุ้งยังต้องการใช้แร่ธาตุ โซเดียม และโพแทสเซียมเป็นแหล่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการพัฒนาของตัวอ่อนอีกด้วย ซึ่งความสำคัญของโซเดียมและโพแทสเซียมนั้น จะทำให้ตัวอ่อนในระยะคัพภะมีอัตราการฟักไข่ที่ดีขึ้น และทำให้ลูกกุ้งก้ามกรามมีการเติบโต มีระยะพัฒนาการที่ดี และมีอัตราการรอดตายสูง (Damrongphol *et al.,* 1990) ดังนั้นการที่ปริมาณแร่ธาตุโซเดียม และ โพแทสเซียม ในการทดลองนี้มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงน่าจะมีสาเหตุจากการที่ลูกกุ้งนำแร่ธาตุดังกล่าวไปใช้ (ภาพที่ 73)

ในทางตรงกันข้าม ผลการทดลองนี้ กลับไม่พบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของแคลเซียม แต่ปริมาณของแคลเซียมก็มีแนวโน้มว่ามีปริมาณลดลงเช่นกัน จึงเป็นไปได้ว่าลูกกุ้งในระยะตัวอ่อน ก็ต้องใช้แคลเซียมในการเจริญเติบโต แต่ใช้ไปในปริมาณที่น้อยมาก จึงทำให้ไม่เห็นการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ภาพที่ 75)



ภาพที่ 75 การลดลงของความเข้มข้น แคลเซียม และ คลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในระบบการไหลเวียนแบบปิด

และในส่วนความเข้มข้นของธาตุคลอรีนในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ในการอนุบาล พบว่า ไม่มีการลดลงในการทดลองครั้งนี้ แต่มีแนวโน้มว่าจะมีความเข้มข้นมากขึ้น (ภาพที่ 75) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการระเหยไปของน้ำในตู้ทดลอง ซึ่งถึงแม้ว่าได้มีการปิดฝาตู้ทดลองอย่างสนิทแล้ว ก็ยังมีการระเหยของน้ำออกไปบ้างเล็กน้อย ซึ่งจะส่งผลทำให้มีความเค็มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน ดังที่จะกล่าวถึงต่อไปในส่วนของคุณภาพน้ำตลอดการทดลอง (ตารางที่ 24)

3.3 คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการอนุบาล

ในการทดลองนี้ได้มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในการทดลองทุกวัน โดยทำการตรวจวัดความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (D.O.) pH อุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์ ตลอดการทดลองพบว่ามี ดังนี้

ตารางที่ 25 คุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งที่ฟักจากไข่ทำการบ่มในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน (พิสัยระหว่างค่าต่ำสุด-สูงสุดในช่วงระยะเวลา 30 วัน)

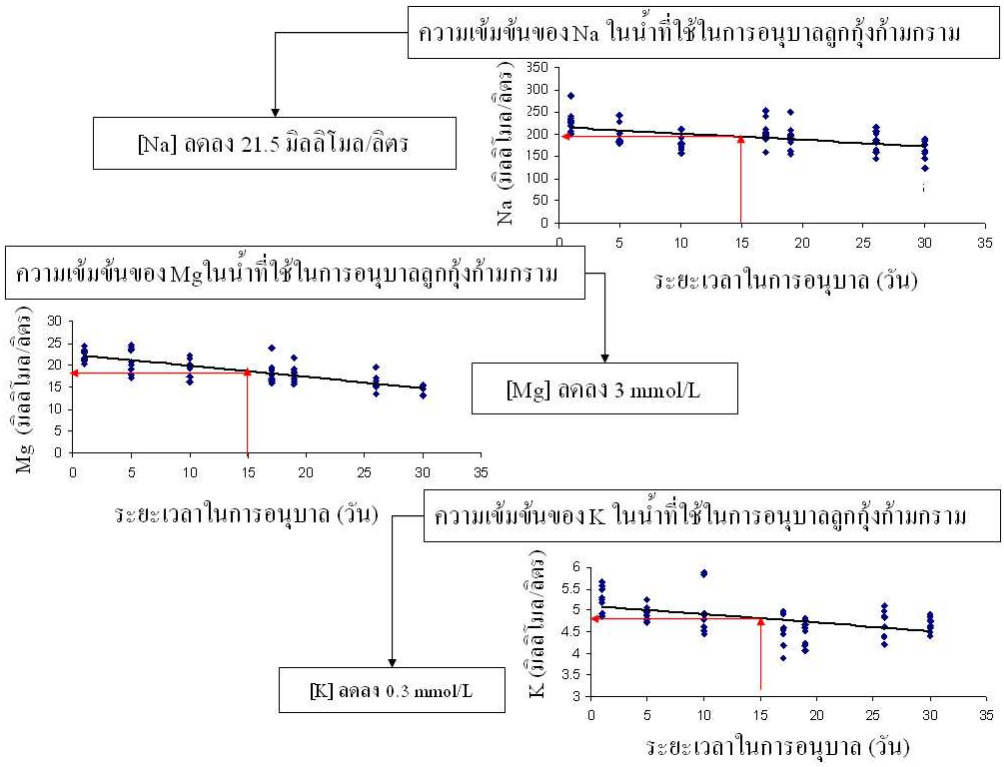
ชุดการทดลองที่	ความเค็ม (ส่วนในพัน)	D.O. (มิลลิกรัม/ลิตร)	pH	อุณหภูมิ (^{o}C)	แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
1	15.0-15.3	5.15-5.17	8.4	27.7-29.7	0	0
2	15.0-15.3	5.11-5.14	8.4	27.7-29.7	0	0
2	15.0-15.3	5.14-5.16	8.4	27.7-29.7	0	0

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำตลอดการทดลองพบว่าทั้งความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ pH อุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ดูตารางที่ 7 8 9 10 และ 11 ประกอบ)

4. การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุที่ขาดหายไปตามข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาในการทดลองที่ 3 ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนถึงระยะโพสลาวา

การทดลองที่ 4 เป็นการนำน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน มาใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มระบบปิด โดยมีการเสริมแร่ธาตุในระหว่างการทดลอง โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในการทดลองที่ 3 เป็นเกณฑ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์จากการทดลองที่ 3 พบว่ามีปริมาณโซเดียมลดลง 21.5 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 494 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณแมกนีเซียมลดลง 3 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 73 มิลลิกรัม/ลิตร และมีปริมาณโพแทสเซียมลดลง 0.3 มิลลิโมล/ลิตร หรือ

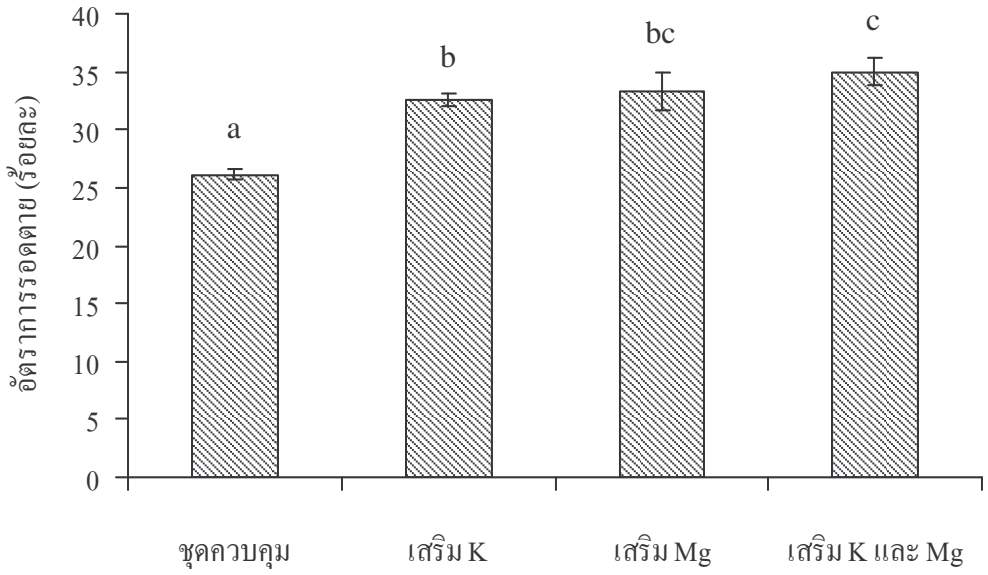
11.73 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 15 ของการอนุบาล (ภาพที่ 76) จึงเสริมแร่ธาตุแมกนีเซียมที่ลดลงโดยใช้ $MgCl_2.6H_2O$ = 30.51 กรัมละลายน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วจึงค่อยๆเทลงในตู้ทดลอง และใช้ KCl = 1.09 กรัม ละลายน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วจึงค่อยๆเทลงในตู้ทดลองในการเสริมแร่ธาตุโพแทสเซียม ส่วนปริมาณโซเดียมที่ลดลงไม่ได้ทำการเสริมแร่ธาตุ เนื่องจากเป็นแร่ธาตุที่ยังมีอยู่ในปริมาณมากในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล การทดลองนี้แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยมีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ไม่มีการเสริมแร่ธาตุเป็นชุดควบคุม การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่มีการเสริมโพแทสเซียมเป็นชุดการทดลองที่ 2 การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่เสริมแมกนีเซียมเป็นชุดการทดลองที่ 3 และการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่มีการเสริมทั้งโพแทสเซียม และแมกนีเซียมเป็นชุดการทดลองที่ 4



ภาพที่ 76 ปริมาณโซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม รวมจากทุกชุดการทดลองในการทดลองที่ 3 ที่มีปริมาณลดลง ในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิดที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในวันที่ 15 ของการอนุบาล

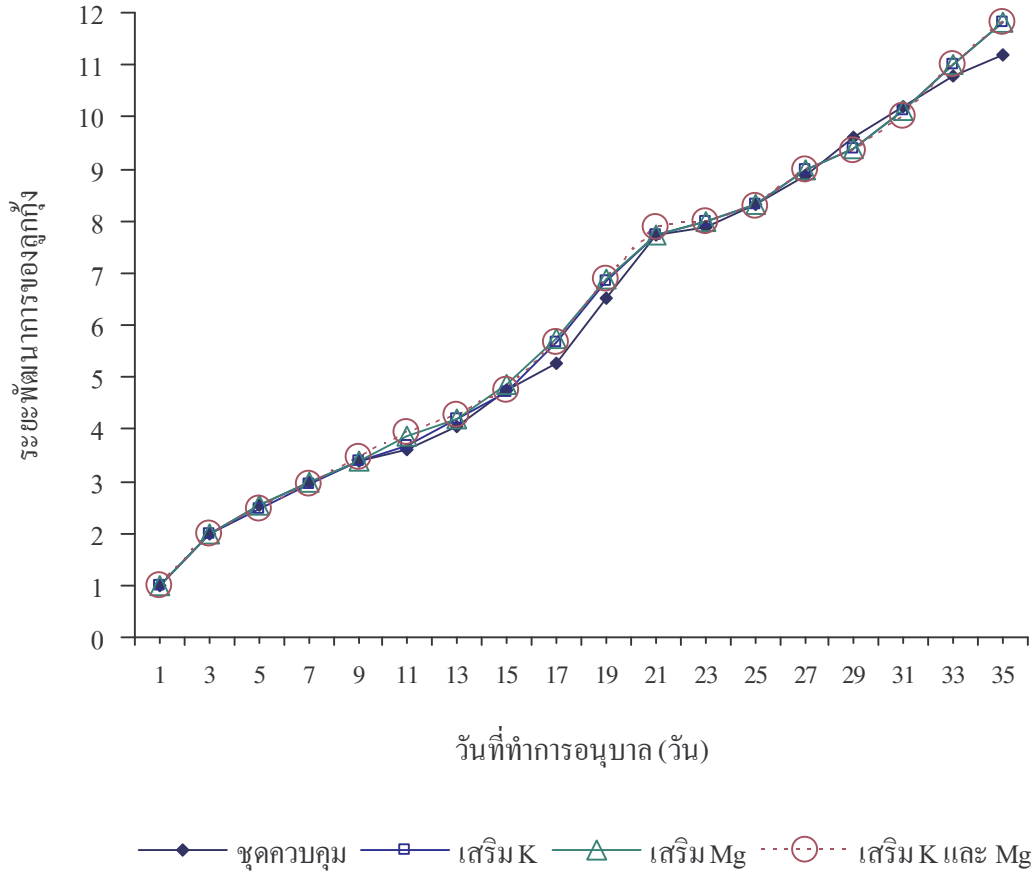
4.1 อัตราการรอด และระยะพัฒนาการของลูกกุ้ง

จากการทดลองพบว่า ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 2 3 และ 4 มีอัตราการรอดตาย 26.12 $\pm$ 0.43 31.62 $\pm$ 0.58 33.38 $\pm$ 1.63 และ 35.00 $\pm$ 1.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 77) แต่มีพัฒนาการของลูกกุ้งไม่แตกต่างกัน โดยที่มีระยะเวลาในการพัฒนาจนถึงระยะโพสลาวาเป็นเวลา 35 วัน และมีพัฒนาการในระยะโพสลาวาทุกตัว เป็นเวลา 36 วันเหมือนกัน (ภาพที่ 78)



ภาพที่ 77 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในตู้ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด โดยมีการชดเชยแร่ธาตุ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และชดเชยทั้งโพแทสเซียม และแมกนีเซียม ในวันที่ 15 ของการอนุบาล (ดูตารางผนวกที่ 2 ประกอบ)

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)



ภาพที่ 78 ค่าเฉลี่ยของระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในตู้ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด โดยมีการเสริมแร่ธาตุโพแทสเซียมแมกนีเซียม และเสริมทั้งโพแทสเซียม และแมกนีเซียม ในวันที่ 15 ของการอนุบาล

ในการทดลองที่ 4 นี้ใช้ผลการศึกษาจากการทดลองที่ 3 เป็นพื้นฐาน ซึ่งพบว่า ลูกกุ้งเริ่มมีอัตราการตายในวันที่ 19 ของการอนุบาล ดังนั้นในการทดลองที่ 4 จึงกำหนดให้มีการเสริมแร่ธาตุโพแทสเซียม และแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล โดยกำหนดให้ชดเชยก่อนวันที่ 19 ในการอนุบาล ซึ่งในการทดลองที่ 4 ได้กำหนดวันที่ 15 ของการอนุบาลในการเสริมแร่ธาตุ การทดลองนี้ไม่ได้ทำการเสริมแร่ธาตุโซเดียมเนื่องจากยังมีอยู่ในปริมาณมาก ถึงแม้จะมีการลดลงก็ตาม ซึ่งผลการทดลองพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่มีระบบไหลเวียนแบบวงจรปิด ที่ได้รับการเสริมโพแทสเซียม (ชุดการทดลองที่ 2) และ

ชุดเสริมแมกนีเซียม (ชุดการทดลองที่ 3) มีอัตราการรอดตายที่ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่จะมีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุใดๆ (P<0.05) และชุดที่ได้รับการเสริมทั้งแมกนีเซียมและโพแทสเซียม มีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดที่เสริมแมกนีเซียมอย่างเดียวแต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่พบว่าชุดที่ได้รับการเสริมทั้งแมกนีเซียมและโพแทสเซียม มีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดที่เสริมโพแทสเซียมเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเหตุการณ์นี้เป็นการสรุปได้ว่า ลูกกุ้งต้องการแร่ธาตุจากน้ำที่ใช้ในการอนุบาล เนื่องจากต้องใช้แร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด เช่น โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ คลอไรด์ ไปเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (จักรตุพร, 2536; ชลอ และคณะ, 2547; บุญรัตน์ และคณะ, 2547; Zang *et al.,* 1995; Prtoomchat *et al.,* 2002a) ซึ่งในแร่ธาตุที่ลูกกุ้งต้องการมากที่สุดคือแมกนีเซียม เนื่องจากเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกและเนื้อเยื่อ(บุญรัตน์ และคณะ, 2547) ในการทดลองที่ 4 นี้พบว่าอัตราการรอดของลูกกุ้งไม่ได้ต่ำจนเกินไปหากเปรียบเทียบกับการทดลองอื่นๆ ซึ่งได้วิจารณ์ไปแล้วใน การทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 3

4.2 คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการอนุบาล

ในการทดลองที่ 4 นี้ ได้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในการทดลองทุกวัน โดยมีการตรวจวัด ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) pH อุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์ ตลอดการทดลอง ซึ่งพบว่ามีผล ดังนี้

ตารางที่ 26 คุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ที่มีการเสริมแร่ธาตุ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ร่วมกับแมกนีเซียม ในน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิด (พิสัยระหว่างค่าต่ำสุด-สูงสุดในช่วงระยะเวลา 35 วัน)

ชุดการทดลองที่	ความเค็ม (ส่วนในพัน)	DO (มิลลิกรัม/ลิตร)	pH	อุณหภูมิ (^{o}C)	แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
1	15.0-15.4	5.04-5.12	8.4	26.0-29.0	0	0
2	15.0-15.4	5.05-5.13	8.4	26.0-29.0	0	0
3	15.0-15.4	5.05-5.15	8.4	26.0-29.0	0	0
4	15.0-15.4	5.05-5.13	8.4	26.0-29.0	0	0

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำตลอดการทดลองที่ 4 พบว่าทั้งความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ pH อุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์ อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ดูตารางที่ 7 8 9 10 และ 11 ประกอบ)

วิจารณ์

วิจารณ์ผลการทดลองในภาพรวม

วิทยานิพนธ์นี้เน้น การศึกษาความสำคัญของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด (โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน) ของการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) โดยมุ่งประเด็นไปที่แหล่งน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง เมื่อทราบว่าน้ำเค็มจากแหล่งใดให้อัตราการรอดดีที่สุดในการอนุบาลในน้ำเค็ม ที่มีระบบหมุนเวียนแบบปิด จึงทำการวิจัยต่อไปว่าระดับความเค็ม มีผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนในระยะคัพภะหรือไม่ ในการบ่มไข่ที่ระดับความเค็มต่างกัน จะให้ผลอัตราการฟักไข่แตกต่างกันอย่างไร และมีแร่ธาตุชนิดใดในน้ำ และในพลาสมาของแม่กุ้งที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการบ่มไข่ เมื่อตัวอ่อนที่ได้รับการบ่มไข่ที่ระดับความเค็มต่างกันฟักออกมาเป็นตัวแล้ว จึงนำไปทำการอนุบาลต่อ และเก็บตัวอย่างน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด เพื่อศึกษาการใช้แร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล เมื่อทราบถึงปริมาณแร่ธาตุที่ลูกกุ้งใช้ไปในการอนุบาลแล้ว จึงทำการทดลองเสริมแร่ธาตุชนิดนั้นๆ ลงในน้ำเค็ม เพื่อทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามต่อไป เพื่อที่จะได้ระบบการใช้น้ำเค็มที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับภูมิภาค ที่มีความห่างไกลจากทะเล เช่น ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากผลการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถสรุปประเด็นเพื่อนำมาวิจารณ์ได้ดังต่อไปนี้

1. แหล่งน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเค็มที่เตรียมมาจากแหล่งที่มา 3 แหล่ง คือ 1. น้ำทะเลเข้มข้นจากการทำนาเกลือในจังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ระดับความเค็ม 100 ส่วนในพัน 2. น้ำทะเลเทียม ซึ่งเตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปภายใต้ชื่อการค้า Marinium และ 3. น้ำเกลือสินเธาว์ ที่เตรียมมาจากเกลือสินเธาว์

จาก อ.บ่อเกลือ จังหวัดน่าน ซึ่งเป็นแหล่งเกลือสินเธาว์ที่มีในท้องถิ่นทางภาคเหนือของประเทศไทย

จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า การใช้น้ำทะเลเทียมเป็นแหล่งน้ำเค็ม ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในภูมิภาคที่มีระยะทางห่างไกลจากทะเลมาก เช่น ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีต้นทุนต่อหน่วยปริมาตรที่ต่ำกว่าการใช้น้ำเค็มที่เตรียมมาจากน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นจากการทำนาเกลือ และน้ำเค็มที่เตรียมมาจากการนำเกลือสินเธาว์ มาละลายน้ำ และทำการชดเชยแร่ธาตุที่ขาดหายไป อีกทั้งมีองค์ประกอบของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดใกล้เคียงกับน้ำทะเลในธรรมชาติ (ดูตารางที่ 21 ประกอบ) ซึ่งน้ำเค็มจากแหล่งที่ต่างกันนั้น มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

การใช้น้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือ หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า น้ำนาเกลือ เป็นแหล่งน้ำเค็มนั้น พบว่า น้ำนาเกลือเป็นน้ำที่มีปริมาณ แคลเซียมต่ำกว่าในน้ำทะเลปกติ เนื่องจากกระบวนการทำนาเกลือนั้น เมื่อน้ำทะเลมีการระเหยไปก็จะทำให้มีความเค็มมากขึ้นจนทำให้ $CaCO_3$ และ $CaSO_4$ เกิดการตกผลึกออกมาเป็นอันดับแรก ซึ่งการตกผลึกของเกลือจากน้ำทะเลที่มีความเค็ม 35 ส่วนในพัน ที่ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะเป็นไปตามลำดับโดยจะมีเกลือ $CaCO_3$ เกิดการตกผลึกออกมาเป็นลำดับแรก จากนั้น $CaSO_4 .2H_2O$ จะตกผลึกเป็นลำดับถัดมา หลังจากนั้น NaCl $MgCl_2.6H_2O$ $MgSO_4.7H_2O$ และ NaBr จึงจะตกผลึกออกมาตามลำดับ ส่วนเกลือ KCl หากจะเกิดการตกผลึกได้ก็ต้องปล่อยให้น้ำระเหยไปจนหมด ดังนั้น KCl จะอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งชาวนาเกลือได้ระบายทิ้งไป (ประดิษฐ์, 2540; อนันต์ และสุพล, 2552)

หากพิจารณาถึงต้นทุนในการขนส่งน้ำนาเกลือ เป็นระยะทางไกล พบว่า ในการขนส่งน้ำนาเกลือที่มีความเค็ม 100 ส่วนในพัน เพื่อนำไปทำการอนุบาลลูกกุ้งที่จังหวัดเชียงใหม่นั้น มีค่าขนส่งรวมกับค่าน้ำนาเกลือ ที่สามารถคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยปริมาตร เปรียบเทียบกับการใช้น้ำทะเลเทียม ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ค่าขนส่งรวมกับค่าน้ำนาเกลือ ที่สามารถคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยปริมาตรเปรียบเทียบกับการใช้น้ำทะเลเทียม

แหล่งที่มา	ปริมาณที่ขนส่ง หรือ น้ำหนักบรรจุภัณฑ์	ปริมาตรน้ำเค็ม 15 ส่วนในพันที่เตรียมได้ (ลิตร)	ราคารวม (บาท)	ราคา/ลิตร (บาท)
น้ำนาเกลือ	15,000 ลิตร	100,000	20,00	5
น้ำทะเลเทียม	1,500 กรัม	100	80	1.25

ส่วนการใช้น้ำเกลือสินเธาว์ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น พบว่า มีความไม่สะดวกในการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบ เพื่อนำมาคำนวณสำหรับการชดเชยแร่ธาตุที่ขาดหายไป โดยใช้ปริมาณที่มีอยู่ในน้ำทะเลปกติเป็นเกณฑ์ เนื่องจากเกลือสินเธาว์จากแต่ละแหล่งนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา กระบวนการเกิดเกลือชนิดนั้นๆ ในธรรมชาติ และกรรมวิธีในการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตเกลือสินเธาว์เชิงพาณิชย์นั้น ต้องผลิตให้ได้เกลือ NaCl ที่มีความบริสุทธิ์มาก จึงต้องต้องเติม NaOH และ Na_2CO_3 เพื่อให้ Mg (OH)$_2$ และ $CaCO_3$ เกิดการตกผลึก เพื่อเป็นการกำจัด Mg^{2+} และ Ca^{2+} จากนั้นจึงทำการกรอง $Mg(OH)_2$ และ $CaCO_3$ ออกไป และนำส่วนที่เป็นสารละลายเกลือไปตกผลึกต่อก็จะได้ NaCl ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น เมื่อตกผลึกไปเป็นระยะเวลานานๆ ปริมาณ NaCl ในสารละลายจะลดลงแต่ในสารละลาย จะยังคงมี $NaSO_4$ และ Na_2CO_3 ละลายอยู่ซึ่งเรียกสารละลายนี้ว่า “น้ำขม” จึงต้องนำน้ำขมมากำจัดไอออนต่างๆ ออกโดยการเติม $CaCl_2$ ซึ่งทำให้เกลือ $CaCO_3$ และ $CaSO_4$ ตกผลึกออกมาแล้ว จึงทำการกรองแยกตะกอนออกแล้วนำสารละลายที่ได้ไปตกผลึก NaCl ได้อีกครั้ง ทำให้เกลือที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงมาก และมีความชื้นต่ำ แต่ก็จะทำให้มีปริมาณแร่ธาตุ แมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียมต่ำ โดยเฉพาะแร่ธาตุโพแทสเซียมนั้น มักจะอยู่ในที่ลึกๆ ซึ่งในที่มีความลึกมากๆ นี้ จะมีสารประกอบพวกคาร์นัลไลท์ (carnallite) หรือ (sylvite) ซึ่งมีแร่ธาตุโพแทสเซียมที่เป็นปุ๋ยสำคัญเป็นองค์ประกอบ และเป็นที่รู้จักกันในชื่อ “โพแทส” (potash) ซึ่งในการขุดบ่อน้ำเกลือ เพื่อทำเหมืองเกลือนั้น ถ้าหากการขุดไม่มีความลึกเพียงพอแล้วก็จะทำให้ได้เกลือที่มี โพแทสเซียมต่ำ (ประดิษฐ์, 2540)

ส่วนน้ำเกลือสินเธาว์จากจังหวัดน่าน ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการทดลองนี้ พบว่า มีปริมาณแร่ธาตุ แมกนีเซียม และโพแทสเซียมต่ำกว่าในน้ำทะเลเทียม และน้ำทะเลจาก

นาเกลือ ซึ่งมีปริมาณ แมกนีเซียม และโพแทสเซียมใกล้เคียงกัน แต่น้ำเกลือสินเธาว์ จากจังหวัดน่าน ก็มีปริมาณ แคลเซียมสูงกว่าในน้ำนาเกลือ ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการขุดบ่อน้ำเกลือลงไป โดยที่มีระดับความลึกไม่มากพอที่จะมีแร่โพแทสเซียม จึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมและโพแทสเซียมต่ำ และมีปริมาณไม่คงที่แตกต่างกันไปตามแหล่งที่มาและกระบวนการผลิต

ดังนั้นในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในภูมิภาคที่ห่างไกลจากทะเล จะมีต้นทุนจากการใช้น้ำเค็มเป็นปัจจัยจำกัด เนื่องจากมีราคาสูง และไม่สามารถเปลี่ยนถ่ายน้ำได้ตลอดเวลา เพราะจะทำให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมุ่งเน้น ที่จะทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามภายใต้ระบบปิด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งสามารถทำการอนุบาลจนเป็นผลสำเร็จ โดยมีอัตราการรอดตายเฉลี่ยประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ในการอนุบาลในตู้กระจกที่มีความจุ 50 ลิตร และมีอัตราการใช้น้ำเค็มเพียง 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเปิด ซึ่งมีการใช้น้ำเค็มถึง 300 ลิตร ซึ่งเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำเค็มลงได้ถึง 6 เท่า ทำให้สามารถสรุปเป็นต้นทุนการใช้น้ำเค็มในการผลิตลูกกุ้งก้ามกราม ในระยะโพสลาวาต่อตัวเมื่อได้ดัง ตารางที่ 28

ตารางที่ 28 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตลูกกุ้งก้ามกรามในระยะโพสลาวาในระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด และระบบเปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

แหล่งน้ำเค็ม	ระบบการใช้น้ำ	น้ำเค็มที่ใช้ (ลิตร)	ต้นทุนการใช้น้ำเค็ม (บาท)	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	ต้นทุน (บาท/ตัว)
น้ำทะเลเทียม	ระบบเปิด	50	375.00	40-60	0.18-0.23
น้ำทะเลเทียม	ระบบปิด	300	62.50	30	0.05

2. การบ่มไข่กุ้งก้ามกราม

2.1 ระดับความเค็มในการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม

จากการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ผลของการบ่มไข่กุ้งที่ความเค็ม 5 และ15 ส่วนในพัน จะทำให้ลูกกุ้งในระยะคัพภะ มีพัฒนาการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ไข่กุ้งก้ามกรามที่บ่มในความเค็ม 5 ส่วนในพัน จะมีอัตราการฟักไข่สูงกว่าที่ความเค็ม 15 และ 25

ส่วนในพัน (P<0.05) ดังนั้น ผลการทดลองนี้จึงมีความสอดคล้องกับแนวทางการปฏิบัติของเกษตรกรหลายๆ รายที่นิยมการนำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะแกสตรูลา มาเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำๆ ประมาณ 3-5 ส่วนในพัน เพื่อทำการบ่มไข่ โดยมีความเชื่อว่าจะทำให้ตัวอ่อนในระยะคัพภะมีพัฒนาการเร็วขึ้น ซึ่งตรงกันกับรายงานของ New (1990) ที่ได้ระบุว่าแม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้องที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน และในน้ำที่มีระดับความเค็มที่ต่ำกว่านั้นจะมีอัตราการฟักไข่สูงขึ้น ซึ่งผลของการบ่มไข่กุ้งในการทดลองนี้ก็มีผลเช่นเดียวกันโดยพบว่าแม่กุ้งที่ผ่านการบ่มไข่ในน้ำที่ความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพันจะมีการพัฒนาของตัวอ่อนในระยะคัพภะเร็วขึ้น โดยจะเห็นได้จากอัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้น ต่อแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะแกสตรูลาที่ทำการบ่มไข่ในน้ำที่มีความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพัน จะสูงกว่าที่ 25 ส่วนในพัน (P<0.05) นอกจากนี้ยังมีอัตราการฟักไข่ที่ผ่านการบ่มในน้ำที่มีระดับความเค็ม 5 ส่วนในพันสูงกว่าในน้ำที่มีระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน (P<0.05) และพบว่าไข่ที่ผ่านการบ่มในน้ำที่มีระดับความเค็ม 5 และ 15 ส่วนในพัน ก็จะมีอัตราการฟักสูงกว่าไข่ที่ผ่านการบ่มไข่ในน้ำที่ความเค็ม 25 ส่วนในพัน (P<0.05)

การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้ เพราะลูกกุ้งในขณะที่อยู่ในไข่นั้นได้รับแร่ธาตุที่จำเป็นจากน้ำทำให้มีพัฒนาการที่ดี โดยเฉพาะการได้รับแร่ธาตุแมกนีเซียมก็ทำให้ลูกกุ้งสามารถนำไปใช้ในการสร้างเปลือก (ชลอ และคณะ, 2547; บุญรัตน์, 2547; Pratoomchat, 2002) จึงทำให้น้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่มีปริมาณแมกนีเซียมลดลง ส่วนโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์นั้น เป็นแร่ธาตุที่ลูกกุ้งต้องการเพื่อนำไปใช้ในระบบการควบคุมสมดุลออสโมติก และใช้เป็นองค์ประกอบในเลือด (บุญรัตน์, 2547) จึงทำให้ปริมาณโซเดียมในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ลดลงในทุกระดับความเค็มที่ใช้ในการบ่มไข่ (P<0.05)

ดังนั้นผลจากการทดลองในครั้งนี้ จึงสามารถนำไปใช้ในการตอบปัญหาได้ว่า เหตุใดเกษตรกรจึงมักจะนำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะแกสตรูลา ไปเลี้ยงไว้ในน้ำที่มีระดับความเค็ม 3-5 ส่วนในพัน เพื่อให้ไข่มีพัฒนาการไปสู่ระยะหัวใจเต้น โดยมีความเชื่อว่าการทำเช่นนี้ จะทำให้ตัวอ่อนภายในไข่กุ้งมีพัฒนาการที่เร็วขึ้น และมีอัตราการฟักสูงขึ้น ซึ่งความเชื่อดังกล่าวยังขาดหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถใช้ยืนยันได้ และนอกจากนี้ก็ยังใช้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถตอบโจทย์ได้ว่า เพราะเหตุใดแม่กุ้งที่มีไข่ติดท้องในธรรมชาติ จึงมักจะถูกจับได้ในแหล่งน้ำที่มีความเค็มต่ำๆ ที่ระดับความเค็มประมาณ 3-6 ส่วนในพัน เป็นส่วนใหญ่ (ไพโรจน์ และทรงชัย, 2513) อีกทั้งยังสามารถตอบได้ว่าเพราะเหตุใดแม่กุ้งที่มีไข่ติดท้องจึงต้องอพยพเข้าไปอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย โดยใช้ผลการทดลองนี้เป็นหลักฐานในการอธิบายได้ ดังนี้

2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ ที่ระดับความเค็ม 3 ระดับ และในพลาสมาของแม่กุ้งทั้งก่อน และหลังการบ่มไข่

2.2.1 โซเดียม และแมกนีเซียม

แร่ธาตุโซเดียม และแมกนีเซียมนั้น จัดเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำทะเล และยังมีหน้าที่ในการช่วยรักษาสมดุลออสโมติก และเป็นองค์ประกอบหลักในเปลือกและในเนื้อเยื่อของกุ้ง ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้ พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่แม่กุ้งก้ามกรามที่มีไข่ในระยะแกสตรูลา จนมีพัฒนาการของไข่ถึงระยะหัวใจเต้น พบว่า มีปริมาณลดลงในทุกระดับความเค็มที่ใช้ในการบ่มไข่ แต่ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาแม่กุ้งกลับไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นจาก 5 ส่วนในพัน เป็น 15 และ 25 ส่วนในพัน เนื่องจากแม่กุ้งจะอยู่ในสภาวะ hyperregulation ซึ่งมีความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาสูงกว่าในน้ำที่อาศัยอยู่ และแม่กุ้งสามารถรักษาระดับโซเดียมในพลาสมาไว้ได้ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมา เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโซเดียมในพลาสมาของแม่กุ้งก้ามกราม ที่วิเคราะห์ได้ในการทดลองนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 273-292 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับรายงานของ Funge-Smith *et al.* (1995) ซึ่งรายงานไว้ว่าความเข้มข้นของโซเดียมในเลือดจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 200-330 มิลลิโมล/ลิตร (ที่ระดับความเค็ม 5-25 ส่วนในพัน) และยังสอดคล้องกับรายงานของ Cheng *et al.* 2001 ซึ่งรายงานว่ากุ้งก้ามกรามในระยะการลอกคราบ ในช่วงระยะคราบแข็ง (ระยะ C) และระยะก่อนลอกคราบ (ระยะ D) จะมีความเข้มข้นของโซเดียมในเลือดอยู่ในช่วงประมาณ 200-220 มิลลิโมล/ลิตร และจากผลการทดลองในครั้งนี้ยัง พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมมีจุด iso ionic อยู่ที่ระดับความเค็มประมาณ 23-24 ส่วนในพัน ซึ่งเป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกับรายงานของ Funge-Smith *et al.* (1995) จากที่กล่าวมานั้นจึงน่าจะสรุปได้ว่า การลดลงของปริมาณธาตุโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ตัวอ่อนในระยะคัพภะนำไปใช้ ซึ่งผลการทดลองนี้พบว่า การบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน จะทำให้ตัวอ่อนมีพัฒนาการเร็ว และมีอัตราการฟักสูงที่สุด เมื่อทียบกับที่ระดับความเค็มอื่น จึงสอดคล้องกับรายงานของ Damrongphol *et al.* (2001) ได้รายงานว่าตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในความเข้มข้นของ NaCl ที่ 169.2 มิลลิโมล/ลิตรซึ่งมีความเข้มข้นของธาตุโซเดียมอยู่ 66.56 มิลลิโมล/ลิตร และในความเข้มข้นของ KCl ที่ 3.6 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 1.89 มิลลิโมล/ลิตร จะทำให้ตัวอ่อนมีพัฒนาการดีที่สุด และยังได้รายงานว่า ตัวอ่อนในระยะแรกๆนั้นต้องการ NaCl KCl และ $MgCl_2$ + $MgSO_4$

ซึ่งผลการทดลองนี้ก็พบว่า ที่ระดับความเค็มของน้ำทะเลเทียมที่ 5 ส่วนในพัน มีความเข้มข้นของธาตุคลอรีน 64.26 $\pm$ 8.45 มิลลิโมล/ลิตร จึงเป็นผลการทดลองที่สอดคล้องกันเป็นอย่างยิ่ง และยืนยันได้ว่า ตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามต้องการใช้แร่ธาตุโซเดียมจากน้ำภายนอกอย่างชัดเจน โดยทำให้มีความเข้มข้นของธาตุโซเดียมในน้ำที่ใช้ หลังจากการบ่มไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาของแม่กุ้งที่ทำการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน จะมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นในน้ำ ดังนั้นจุด iso-ionic ของแมกนีเซียมน่าจะอยู่ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน ซึ่งในการทดลองบ่มไข่แม่กุ้งจากระยะแกสตรูลา จนมีพัฒนาการถึงระยะหัวใจเต้น ในช่วงระยะเวลา 10 วัน พบว่าแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้เลี้ยงแม่กุ้งมีความเข้มข้นลดลง ซึ่งการลดลงนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ตัวอ่อนในระยะคัพภะมีความต้องการใช้แร่ธาตุแมกนีเซียม เพื่อการพัฒนาโครงสร้าง และใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ (บุญรัตน์, 2547; Pratoomchat *et al.,* 2002a) ผลการทดลองนี้ พบว่ามี ความสอดคล้องรายงานของ Damrongphol *et al.* (2001) ที่ได้รายงายว่า ตัวอ่อนกุ้งก้ามกราม ในระยะแรกๆ นั้นต้องการ NaCl KCl และ $MgCl_2$ + $MgSO_4$ จากในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของความเข้มของแร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในพลาสมา และในน้ำทะเลเทียมที่ใช้บ่มไข่แล้ว พบว่า ที่ความเค็ม 5 ส่วนในพัน จะมีความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในพลาสมาแม่กุ้งใกล้เคียงกันกับในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ ดังนั้นจุด iso-ionic ของแมกนีเซียมของแม่กุ้งที่มีไข่ติดท้องน่าจะอยู่ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วน ที่ระดับความเค็มในช่วง 5-25 ส่วนในพัน ในแม่กุ้งจะอยู่ในสภาวะ Hyporegulation แต่ผลการทดลองกลับพบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพลาสมาไม่ได้มีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มของน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wilder *et al.* (1998) ที่ได้รายงานว่า ในน้ำที่มีระดับความเค็มประมาณ 11-12 ส่วนในพัน (อัตราส่วนน้ำทะเล 1/3) จะมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเลือดกุ้งประมาณ 3.6 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกันกับผลการทดลองครั้งนี้ ที่มี ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียม ในพลาสมาแม่กุ้ง 4 มิลลิโมล/ลิตร

2.2.2 โพแทสเซียม และแคลเซียม

แร่ธาตุโพแทสเซียม และแคลเซียมนั้น จัดเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำทะเล และยังมีหน้าที่ในการช่วยรักษาสมดุลออสโมติก และเป็นโครงสร้างหลักในเปลือก

ของกุ้ง และปู จากการทดลองในครั้งนี้ พบว่า ความเข้มข้นของแร่ธาตุโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการทดลองบ่มไข่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ส่วนในพลาสมาของแม่กุ้งก็พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติกลับพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน (P>0.05) และไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระดับความเค็มของน้ำ ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการที่ตัวอ่อนในระยะคัพภะนั้น มีความต้องการใช้ธาตุโพแทสเซียมจากในน้ำในปริมาณที่ไม่มากพอ ที่จะทำให้มีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการทดลองของ Damrongphol *et al.* (2001) ได้รายงานว่าตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในความเข้มข้นของ NaCl ที่ 169.2 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของธาตุโซเดียมอยู่ 66.56 มิลลิโมล/ลิตร และในความเข้มข้นของ KCl ที่ 3.6 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 1.89 มิลลิโมล/ลิตร จะทำให้ตัวอ่อนมีพัฒนาการดีที่สุด จากผลการทดลองนี้ พบว่าการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพันจะทำให้ตัวอ่อนมีพัฒนาการได้เร็ว และมีอัตราการฟักไข่สูงกว่าที่ระดับความเค็มอื่น โดยพบว่า ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพันมีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 2.43 $\pm$ 0.19 มิลลิโมล/ลิตรในน้ำ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Damrongphol *et al.* (2001) อย่างมากส่วนความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสมาก็มีแนวโน้มว่าลดลง ในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งการที่แม่กุ้งพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในพลาสมาไว้ โดยการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่าน เพื่อลดการแพร่ออกของธาตุโพแทสเซียม และจำกัดการแพร่เข้าออกของน้ำอีกด้วย (Mantel and Farmer, 1983 ; บุญรัตน์ และคณะ,2547)

ในการทดลองนี้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งในพลาสมา และในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันจะมีปริมาณใกล้-เคียงกัน ดังนั้นจุด iso-ionic ของโพแทสเซียมน่าจะอยู่ที่ระดับความเค็มประมาณ 15-16 ส่วนในพัน ซึ่งเป็นระดับความเค็มที่ใกล้เคียงกันกับ isosmotic point (ระดับความเค็ม 17.5 ส่วนในพัน) ในการทดลองนี้ พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมในพลาสมาของแม่กุ้ง ที่ค่อนข้างคงที่โดยมีค่าประมาณ 4.8-5.5 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งรายงานของ Cheng *et al.* (2001) ก็ได้รายงานปริมาณของโพแทสเซียมไว้ในช่วง 2.91-3.18 มิลลิโมล/ลิตร เช่นเดียวกัน

ส่วนความเข้มข้นของแคลเซียมนั้น พบว่า เป็นธาตุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม ทั้งในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ และในพลาสมาของแม่กุ้ง ซึ่งเป็นไปได้ว่าตัวอ่อนในระยะคัพภะนั้นไม่ต้องการแคลเซียมจากใน

น้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ พบว่า มีความสอดคล้องรายงานของ Damrongphol *et al.* (2001) ที่รายงานว่า ตัวอ่อนกุ้งก้ามกรามในระยะคัพภะนั้น ต้องการ NaCl KCl และ $MgCl_2$ + $MgSO_4$ จากในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ แต่ไม่ต้องการแคลเซียม

ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งในพลาสมาของแม่กุ้ง และในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ที่ระดับความเค็ม 7-8 ส่วนในพัน จะมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ดังนั้นจุด iso-ionic ของแคลเซียม จะอยู่ที่ระดับความเค็มในช่วงประมาณ 7-8 ส่วนในพัน จากการทดลองพบว่า ที่ระดับความเค็มในช่วง 5-7 ส่วนในพัน แม่กุ้งจะอยู่ในสภาวะ hyperregulation และมีความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาสูงกว่าในน้ำ (hyper-ionic) ดังนั้นจึงมีปริมาณน้ำจากภายนอกแพร่เข้ามาและมีการแพร่ออกของแคลเซียมในร่างกายแม่กุ้ง จึงทำให้แม่กุ้งต้องมีการปรับตัวเพื่อรักษาความเข้มข้นของแคลเซียมภายในพลาสมาไว้ โดยการลดขนาดเยื่อเลือกผ่านเพื่อลดการสูญเสียแคลเซียมและลดการแพร่ของน้ำ (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547)

ส่วนที่ระดับความเค็มในช่วง 8-15 ส่วนในพัน แม่กุ้งก็ยังคงอยู่ในสภาวะ hyperregulation แต่มีความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาต่ำกว่าน้ำภายนอก (hypo-ionic) ในสภาวะเช่นนี้น้ำจากภายนอกก็จะแพร่เข้ามาในร่างกายพร้อมกับปริมาณแคลเซียม ทำให้แม่กุ้งต้องมีการปรับตัวโดยการลดขนาดเยื่อเลือกผ่าน เพื่อลดการแพร่เข้ามาของน้ำและแคลเซียม ในขณะเดียวกันก็จะต้องเพิ่มการสะสมแคลเซียมในรูป $Ca_3(PO_4)_2$ ที่ตับ และ gasstrolith และกำจัดแคลเซียมส่วนเกินทางต่อมแอนเทนนอล และที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน กุ้งจะอยู่ในสภาวะ hypo-regulation และมีปริมาณแคลเซียมในพลาสมาต่ำกว่าในน้ำ hypo-ionic ดังนั้นร่างกายของแม่กุ้งจะต้องเผชิญกับปัญหาการแพร่ออกของน้ำภายในร่างกาย และการแพร่เข้ามาของแคลเซียม ทำให้ต้องมีการปรับตัว โดยการรักษาปริมาณน้ำภายในร่างกายไว้โดยการเพิ่มการเก็บสะสมปัสสาวะ และลดขนาดเยื่อเลือกผ่าน พร้อมกันนั้นจะต้องเพิ่มการสะสมแคลเซียมในรูป $Ca_3(PO_4)_2$ ที่ตับและตับอ่อน แกสโตรลิธ และทำการสะสมไว้ที่เปลือก พร้อมกับการกำจัดแคลเซียมส่วนเกินทางต่อมแอนเทนนอล (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ,2547)

จะเห็นได้ว่าในกุ้งก้ามกราม จะมีความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดต่ำกว่าในน้ำเสมอ ซึ่งผลการทดลองนี้ พบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมในพลาสมาไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามระดับความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wilder *et al.,* (1998) ซึ่งได้รายงานว่า กุ้งก้ามกรามจะมีความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดค่อนข้างคงที่ไม่ว่าความเค็มของน้ำ

จะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และยังสอดคล้องกับรายงานอีกหลายรายงานที่ได้กล่าวว่า สัตว์ในกลุ่มครัสเตเชี่ยนจะพยามรักษาปริมาณแคลเซียมในเลือดไม่ให้มีปริมาณสูงเกินไป (บุญรัตน์ และคณะ, 2547; Krogh, 1965, Mantel and Farmer, 1983; Pratoomchat, 2002)

2.2.3 คลอรีน

ธาตุคลอรีนนั้น จัดเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำทะเล โดยพบว่าหากนำเอาธาตุโซเดียม โพแทสเซียม และคลอรีนทั้ง 3 ชนิดมารวมกัน ก็จะมีปริมาณของแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุ ที่มีอยู่ในระบบเลือดของกุ้ง ดังนั้นจัดเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเลือดกุ้ง นอกจากนี้ธาตุคลอรีน ยังมีหน้าที่ในการช่วยรักษาสมดุลออสโมติกให้กับร่างกายสัตว์น้ำอีกด้วย (บุญรัตน์, 2547) ผลการทดลองนี้พบว่า ความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่มีแนวโน้มว่าจะมีการลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติกลับพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ส่วนความเข้มข้นของธาตุคลอรีนในพลาสมาของแม่กุ้งก็พบว่ามีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติกลับพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการที่ตัวอ่อนในระยะคัพภะนั้นมีความต้องการใช้ธาตุคลอรีนจากในน้ำในปริมาณที่น้อยมาก จึงทำให้ไม่มีปริมาณที่ลดลงอย่างชัดเจน สอดคล้องรายงานของ Damrongphol *et al.* (2001) ที่รายงานว่า ตัวอ่อนกุ้งก้ามกรามในระยะคัพภะนั้นต้องการ NaCl KCl และ $MgCl_2$ + $MgSO_4$ ซึ่งเป็นสารละลายที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามจึงน่าจะต้องการธาตุคลอรีน จากในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่ในปริมาณที่ไม่มากนัก

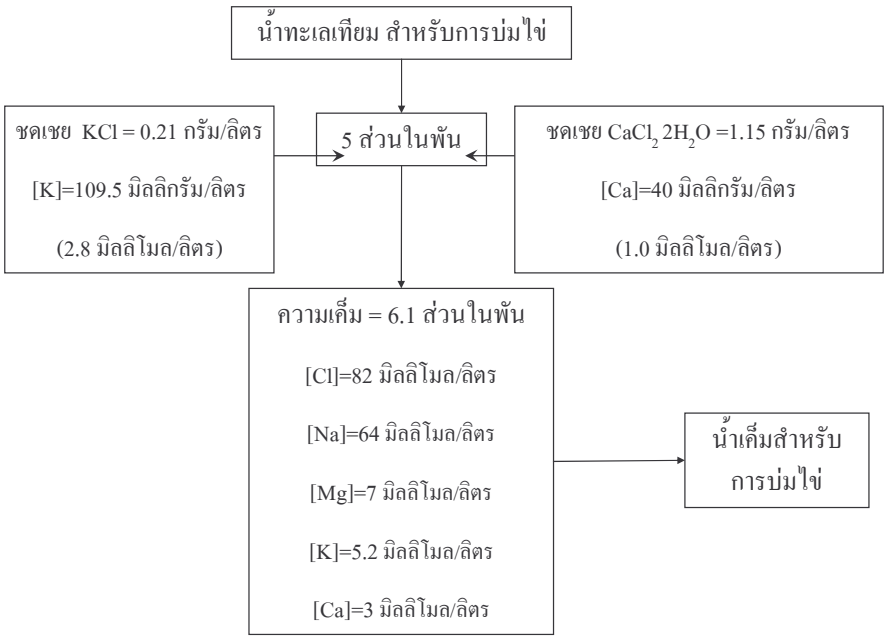
จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของธาตุคลอรีนในพลาสมาแม่กุ้ง และในน้ำทะเลเทียมจะมีปริมาณเท่ากัน ที่ความเค็มประมาณ 17 ส่วนในพัน ซึ่งใกล้เคียงกันกับ isosmotic point ที่ Singh (1980) ได้รายงานว่า isosmotic point และ iso-ionic point ในกุ้งก้ามกรามจะมีค่าเท่ากัน เมื่อกุ้งอยู่ในน้ำที่มีความเค็ม 17.5 ส่วนในพัน ดังนั้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นมากกว่า 15 ส่วนในพัน จะเห็นว่าความเข้มข้นของธาตุคลอรีนในเลือดก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเค็มที่สูงขึ้น เนื่องจากการแพร่เข้ามาของธาตุคลอรีนจากน้ำภายนอกร่างกาย (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547) คลอรีนนั้นเป็นแร่ธาตุที่มีการเคลื่อนย้ายได้เร็ว พบได้ทั้งในของเหลวทั้งที่อยู่ภายใน และภายนอกเซลล์ และสามารถเก็บสะสมไว้ในร่างกายได้มากกว่าแร่ธาตุชนิดอื่นๆ (Mantel and Farmer, 1983; บุญรัตน์ และคณะ, 2547; บุญรัตน์ และคณะ, 2551)

จากผลการทดลองบ่มไข่กุ้งในน้ำเค็มที่มีระดับความเค็มที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับในส่วนของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ ที่ระดับความเค็มต่างกันทั้ง 3 ระดับ และในพลาสมาของแม่กุ้งทั้งก่อนและหลังการบ่มไข่ สามารถนำมาประมวลเป็นภาพรวมได้โดยการนำระดับความเค็มที่แม่กุ้งก้ามกรามมีความเข้มข้นแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในพลาสมาเท่ากับปริมาณที่มีอยู่ในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่ (iso-ionic point) มารวมกันจะได้ผลดัง ตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ระดับความเค็มและความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ isoionic point

แร่ธาตุ	Isoionic point (ส่วนในพัน)	ความเข้มข้น (มิลลิโมล/ลิตร)
Na	23-24	270.0
Cl	15-18	198.0
K	14-15	5.2
Ca	7-8	3.0
Mg	5	7.0

จากผลการทดลอง และตารางที่ 29 พบว่า หากนำน้ำทะเลเทียมที่มีระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน ซึ่งให้ผลการพัฒนาของตัวอ่อนในระยะคัพภะ และมีอัตราการฟักไข่ที่ดีที่สุด มาทำการชดเชยแร่ธาตุโดยใช้ความเข้มข้นที่มีอยู่ในน้ำเค็มที่จุด iso-ionic ของธาตุแต่ละชนิดเป็นพื้นฐานก็จะได้น้ำเค็มที่มีองค์ประกอบดัง ภาพที่ 79



ภาพที่ 79 การชดเชยแร่ธาตุในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 5 ส่วนในพันเพื่อใช้ในการบ่มไข่กุ้งก้ามกราม

จากภาพที่ 79 จะเห็นได้ว่าน้ำทะเลเทียมที่ได้รับการชดเชยแร่ธาตุแล้วจะมีปริมาณของ แมกนีเซียม โพแทสเซียม และ แคลเซียม ในน้ำใกล้เคียงกับในพลาสมาของแม่กุ้ง จึงน่าจะเป็นสูตรของการชดเชยแร่ธาตุในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการบ่มไข่กุ้งที่ทำให้ไข่กุ้งมีการพัฒนาเร็วขึ้น และมีอัตราการฟักไข่สูงขึ้น ดังนั้นหากใช้น้ำเค็มที่เตรียมจากน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 5 ส่วนในพัน นำมาเติม KCl ในปริมาณ 0.21 กรัม/ลิตร และเติม $CaCl_2.2H_2O$ ในปริมาณ 1.15 กรัม/ลิตรก็จะได้น้ำที่น่าจะเหมาะสมในการบ่มไข่

3. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

การทดลองนี้ใช้น้ำทะเลเทียม ที่มีระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในระบบที่มีการไหลเวียนแบบปิด ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ความหนาแน่น 80 ตัว/ลิตร (คิดจากปริมาตรน้ำทั้งหมดในตู้ทดลอง) ใช้ตัวอ่อนอาร์ทีเมียเป็นอาหารในการอนุบาล โดยให้ในอัตราความหนาแน่น 5 ตัว/ลิตร ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (ดูเอกสารอ้างอิงใน ตารางที่ 5-11 ประกอบ) ดังนั้นจึงไม่น่าจะมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากวิธีการทดลอง ที่จะทำให้มีอัตราการรอดตายที่ต่ำจนเกินไป เมื่อเทียบกับการการทดลองในระบบปิดในการทดลองอื่นๆ อัตราการรอด

ตายของลูกกุ้งที่ทำการอนุบาลน่าจะมีสาเหตุมาจากการขาดหายไปของแร่ธาตุบางชนิดซึ่งมีความจำเป็นในการสร้างเปลือกและเนื้อเยื่อ ระบบประสาท การรักษาความต่างศักย์ที่เมมเบรน และการรักษาสมดุลออสโมติก

3.1 อัตราการรอดตายของลูกกุ้ง

อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกราม ที่ทำการอนุบาลในการทดลองที่ 1 พบว่าลูกกุ้งที่ทำการอนุบาลในน้ำเกลือสินเธาว์ มีอัตราการตายสูงมากโดยที่ตายทั้งหมดภายในวันที่ 5 ของการอนุบาล หรือมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 4 อัตราการตายในการทดลองนี้ น่าจะมีสาเหตุมาจากการขาดแร่ธาตุที่จำเป็นบางชนิด เนื่องจากในขั้นตอนการชดเชยแร่ธาตุแมกนีเซียมให้กับเกลือสินเธาว์นั้นได้ใช้ $MgCl_2.6H_2O$ เป็นแหล่งแร่ธาตุแมกนีเซียม ดังนั้นจึงอาจจะทำให้เกิดการขาดธาตุที่จำเป็นบางชนิดที่มีความเกี่ยวพันโดยตรงกับการสร้างเปลือก และเนื้อเยื่อ (cuticle formation and tissue mineralization) ซึ่งในกระบวนการสร้างเปลือกและการสะสมแร่ธาตุ (calcification / biomineralization) ของสัตว์ที่อยู่ในกลุ่มครัสเตเชียนนั้น ได้มีรายงานว่า ปูทะเล (*S. serrata*) จะมีการสร้างเปลือกช่วงแรกด้วยการใช้แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ค่อนข้างมาก (Pratoomchat *et al.* 2002 a, b) ดังนั้นอัตราการตายของลูกกุ้งในการทดลองที่ 1 จึงน่าจะมีสาเหตุมาจากการขาดแร่ธาตุที่มีความจำเป็นบางชนิด ซึ่งได้ทำเก็บตัวอย่างน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุที่เปลี่ยนแปลงไปในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิดในการทดลองที่ 3

3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด (โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน)

3.2.1 โซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม

อัตราการรอดตายในการทดลองที่ 3 นั้น พบว่าอยู่ในช่วง 18-27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการรอด ซึ่งได้ทำการอนุบาลในระบบปิดของการทดลองอื่นๆ ดังที่ได้วิจารณ์ไปแล้ว อัตราการตายของลูกกุ้งในการทดลองนี้ มีสาเหตุมาจากการที่ปริมาณโซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในน้ำ ที่ใช้ในการอนุบาลมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะปริมาณของธาตุแมกนีเซียมได้ลดลงจนทำให้มีอัตราส่วนของปริมาณแมกนีเซียมต่อแคลเซียมต่ำมาก โดยที่มีอัตราส่วนเพียง

1.68-1.58 ในวันที่ 26 และ 30 ของการอนุบาล ซึ่งเป็นช่วงที่ตรงกับพัฒนาการในระยะที่ 11 ที่จะต้องมีพัฒนาการโดยการลอกคราบ เพื่อเข้าสู่ระยะโพสลาวา ซึ่งเป็นระยะที่ลูกกุ้งมีความต้องการปริมาณแมกนีเซียมจากในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลในปริมาณมาก ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับรายงานของ Zang *et al.* (1995) ที่ได้รายงานว่า Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, Br^{-}, HCO_3^{-} และ SO_4^{2-} เป็นแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำในรูปของอิออน ซึ่งมีความจำเป็นต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม และยังได้แนะนำว่า อัตราส่วนของปริมาณอิออน Mg^{2+}/ Ca^{2+} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.8-2.0

ในการลดลงของโซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในการทดลองที่ 3 นั้นไม่ได้เกิดจากการตกตะกอนของ $MgCl_2.6H_2O$ และ $MgSO_4.7H_2O$ อย่างแน่นอน เพราะการที่ $MgCl_2.6H_2O$ และ $MgSO_4.7H_2O$ จะตกผลึกได้นั้น จะต้องมีปริมาตรน้ำในตู้ทดลองระเหยออกไปจนเหลือปริมาตรน้ำเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ในการทดลองนี้ มีการปิดฝาตู้ที่ใช้ในการอนุบาลอย่างสนิท จึงมีอัตราการระเหยของน้ำต่ำมากไม่เพียงพอต่อการทำให้ $MgCl_2.6H_2O$ และ $MgSO_4.7H_2O$ เกิดการตกผลึก ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงนั้น ก็ไม่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดจากการตกผลึก เนื่องจากในขั้นตอนการทำนาเกลือนั้นจะมี KCl เหลืออยู่ในน้ำที่ยังไม่ได้มีการตกตะกอนถูกระบายทิ้งไปในสภาพของเหลว ซึ่งการที่จะทำให้ KCl ตกผลึกได้นั้นต้องทำให้น้ำในตู้ทดลองระเหยออกไปจนหมดจึงจะเกิดการตกผลึกได้

3.2.2 แคลเซียม และคลอรีน

ปริมาณของธาตุแคลเซียม และคลอรีนในการทดลองที่ 3 ถึงแม้ว่า จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม แต่ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิด ก็มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุจากการที่ลูกกุ้งนำเอาแคลเซียมจากในน้ำไปใช้ในการสร้างเปลือก และเนื้อเยื่อเช่นเดียวกันกับแมกนีเซียม แต่น่าจะมีการใช้ไปในปริมาณที่ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำไม่ลดลง (P>0.05) ส่วนคลอรีนนั้นก็เป็นแร่ธาตุที่ลูกกุ้งต้องใช้เช่นกัน เนื่องจากมีหน้าที่ในการรักษาสมดุลออสโมติก แต่ปริมาณของธาตุคลอรีนในน้ำยังมีอยู่ในปริมาณมาก ดังนั้นจึงไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่กลับ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการระเหยของน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาล ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการปิดฝาตู้

ทดลองอย่างสนิทแล้ว ก็ยังมีอัตราการระเหยบ้างในปริมาณน้อย โดยจะเห็นได้จากระดับความเค็มของน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลที่สูงขึ้นเล็กน้อย

4. การเสริมแร่ธาตุแมกนีเซียม และโพแทสเซียมในทะเลเทียมในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยระบบปิด

จากผลการทดลองที่ 3 พบว่า ปริมาณแร่ธาตุโซเดียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามมีการลดลง โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 19 ของการอนุบาลจนทำให้มีอัตราการตายเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งพบว่า มีปริมาณแมกนีเซียมลดลง 3 มิลลิโมล/ลิตร หรือ73 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณ K ลดลงไป 0.3 มิลลิโมล/ลิตร หรือ11.73 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณโซเดียมนั้นถึงแม้ว่าจะมีการลดลง แต่ก็ยังคงมีอยู่ในปริมาณมาก จึงทำการเสริมแร่ธาตุแมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่มีปริมาณลดลงไป โดยใช้สารละลาย KCl และ $MgCl_2.6H_2O$ ในการเสริมแร่ธาตุทั้ง 2 ชนิด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลองโดยมีชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุมซึ่งเป็นการอนุบาลลูกกุ้งโดยใช้น้ำทะเลเทียมที่ไม่มีการเสริมแร่ธาตุ ชุดการทดลองที่ 2 เป็นชุดที่มีการเสริมด้วยแร่ธาตุโพแทสเซียม ชุดการทดลองที่ 3 เป็นชุดที่มีการเสริมด้วยแร่ธาตุแมกนีเซียม และชุดการทดลองที่ 4 เป็นชุดที่มีการเสริมทั้งแร่ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ในการทดลองที่ 4

ผลการทดลองที่ 4 พบว่า อัตราการรอดตายของลูกกุ้งที่มีการเสริมแร่ธาตุให้กับน้ำทะเลเทียมในระหว่างการอนุบาลสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังนั้นจึงน่าจะสรุปได้ว่าลูกกุ้งก้ามกรามต้องการแร่ธาตุจากน้ำที่ใช้ในการอนุบาล เนื่องจากลูกกุ้งต้องใช้แร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด เช่น โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ คลอรีนไปเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (จักรตุพร, 2536; ชลอ และคณะ, 2547; บุญรัตน์, 2547; Zang *et al.,* 1995; Pratoomchat *et al.,* 2002 a, b) โดยเฉพาะในส่วนของปริมาณแมกนีเซียม และโพแทสเซียม ที่ลูกกุ้งต้องการนั้นส่วนใหญ่ จะได้รับมาจากในน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาล (จักรตุพร, 2536) ผลการทดลองที่ 4 จึงเป็นการยืนยัน ว่าหากทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำเค็มที่มีระบบไหลเวียนแบบปิด ต้องมีการชดเชยแร่ธาตุแมกนีเซียม และโพแทสเซียมลงในน้ำที่ใช้ในระหว่างการอนุบาล จึงจะทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดตายที่สูงขึ้น (P<0.05) โดยพบว่าลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำทะเลเทียมที่มีการชดเชยทั้งแร่ธาตุแมกนีเซียม และโพแทสเซียมรวมกัน จะมีอัตราการรอดตายสูงกว่าการชดเชยแร่ธาตุโพแทสเซียมเพียงชนิดเดียว (P<0.05) และการชดเชยแร่ธาตุแมกนีเซียมหรือแร่ธาตุ

โพแทสเซียมเพียงชนิดเดียว จะได้ผลอัตราการรอดตายที่ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่ให้ผลดีกว่าชุดควบคุม (P<0.05)

ในด้านพัฒนาการของลูกกุ้งซึ่งใช้เวลา 35 วันในการอนุบาล เพื่อให้มีการเจริญเติบโต และมีพัฒนาการจนถึงระยะโพสลาวาทุกตัว ซึ่งระยะเวลาในการทดลองนี้เป็นระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันกับในการทดลองอื่นๆ ที่ได้มีการรายงานไว้ ซึ่งมีช่วงระยะเวลา 38-47 วัน, 20-30 วัน, 22-41 วัน, 20-34 วัน และ 20-50 วัน (ไพโรจน์ และ ทรงชัย, 2513; ประจวบ, 2527; ณัฐวุฒิ และคณะ, 2548; Brown, 1991; Sandifer and Smith, 1985)

ดังนั้นเมื่อประมวลความรู้ทั้งหมดที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพบว่า มีองค์ความรู้ใหม่ คือ 1. องค์ความรู้เกี่ยวกับแหล่งที่เหมาะสมของน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม และระบบการใช้น้ำเค็มในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามแบบปิด ซึ่งเหมาะสมกับภูมิภาคที่มีระยะทางห่างไกลจากทะเล เช่นในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และระบบนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อที่จะใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามเชิงพาณิชย์ 2. องค์ความรู้เกี่ยวกับระดับความเค็มที่เหมาะสม และปริมาณแร่ธาตุที่ต้องเสริมลงไปในน้ำที่ใช้ในการบ่มไข่กุ้งก้ามกรามเพื่อให้ตัวอ่อนในระยะคัพภะมีพัฒนาการที่เร็วขึ้น และมีอัตราการฟักไข่สูงขึ้น 3. องค์ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ คลอรีน ที่มีอยู่ในน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในระบบปิด ในแง่ของความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณกับช่วงเวลาในการอนุบาลลูกกุ้ง ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณแร่ธาตุในแต่ละชนิดที่มีปริมาณลดลงเพื่อเสริมปริมาณแร่ธาตุชนิดนั้นๆ ลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลูกกุ้งทำให้มีอัตราการรอดตายสูงขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำทะเลเทียม ให้ผลอัตราการรอดสูงสุด รองลงมา คือ น้ำนาเกลือ แม้ว่าผลของอัตราการรอด และระยะพัฒนาการของลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำเค็มทั้ง 2 แหล่ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่ได้เลือกใช้น้ำทะเลเทียมในการอนุบาลเนื่องจากมีความสะดวกในการเตรียม และประหยัดค่าใช้จ่าย จึงเหมาะสมกับการใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในภูมิภาคที่ห่างไกลจากทะเล

2. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยระบบปิดโดยใช้ไบโอบอลเป็นวัสดุกรอง เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการอนุบาลลูกกุ้งในภูมิภาคที่ห่างไกลจากทะเล เนื่องจากมีคุณภาพน้ำที่ดี และสามารถประหยัดการใช้น้ำได้ถึง 6 เท่า

3. ระดับความเค็มที่ 5 ส่วนในพันเหมาะสมกับการใช้บ่มไข่กุ้งก้ามกราม เนื่องจากทำให้พัฒนาการของคัพภะดีขึ้น และมีอัตราการฟักไข่สูงขึ้น และเป็นระดับความเค็มที่มีความเข้มข้นของแร่ธาตุ แมกนีเซียมในพลาสมาใกล้เคียงกับในน้ำ ซึ่งคัพภะของกุ้งก้ามกรามในระยะแกสตรูลา และระยะหัวใจเต้น ต้องใช้โซเดียม และ แมกนีเซียมจากน้ำ เพื่อให้มีการพัฒนาการเร็วขึ้น และมีอัตราการฟักสูงขึ้น โดยพบว่าจุดสมดุลแร่ธาตุ (iso-ionic point) ของแม่กุ้งก้ามกรามสำหรับ โซเดียม คลอรีน โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม พบที่ความเค็ม 23-24 15-18 14-15 7-8 และ 5 ส่วนในพัน ตามลำดับ

4. ลูกกุ้งที่ฟักจากไข่ที่บ่มในระดับความเค็มต่างกัน มีอัตราการรอด และระยะพัฒนาการไม่แตกต่างกัน และมีแมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้อนุบาลลดลง โดยมีแมกนีเซียมเป็นแร่ธาตุที่ลูกกุ้งใช้มากที่สุด ซึ่งลดลง 7.64 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 33.9 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นแมกนีเซียมทั้งหมดในน้ำที่ใช้ในการอนุบาล แร่ธาตุที่มีความเข้มข้นลดลงรองลงมาคือ โซเดียม มีค่าลดลง 43.04 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 19.9 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมลดลง 0.59 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 11.6 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่แคลเซียมมีค่าลดลง 0.11 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 1.9 เปอร์เซ็นต์ แต่คลอรีนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 3.97 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 1.7 เปอร์เซ็นต์

5. การเสริมแมกนีเซียม และ/หรือโพแทสเซียม ระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ในระบบปิดที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันทำให้อัตราการรอดของลูกกุ้งสูงขึ้น โดยพบสูงสุดเมื่อมีการเสริมแมกนีเซียมร่วมกับโพแทสเซียม

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในครั้งนี้ทำให้ได้ผลผลิตจากการทดลองคือ ได้ระบบน้ำเค็มแบบปิดสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยระบบน้ำเค็มนี้เหมาะสมกับภูมิภาคที่ห่างไกลจากทะเลทำให้ปัญหาขาดแคลนน้ำเค็มลดลง และเป็นระบบที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่มีการปล่อยทิ้งน้ำเค็มจากการเพาะเลี้ยง และได้สูตรในการเสริมแร่ธาตุให้กับน้ำเค็มในการบ่มไข่กุ้งก้ามกรามในระหว่างการอนุบาลในน้ำเค็มระบบปิด แต่การทดลองนี้ก็ยังมีสิ่งที่น่าจะต้องดำเนินการต่อไปคือ

1. ควรศึกษาต่อไปในระบบที่มีกำลังการผลิตมากกว่านี้ เช่นในระบบการผลิตเชิงพาณิชย์

2. ควรทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อให้ทราบถึงแร่ธาตุที่มีความจำเป็นชนิดอื่นๆ เช่น ซัลเฟต และฟอสเฟตด้วย

3. ควรทดลองเสริมแร่ธาตุโพแทสเซียม และแคลเซียมให้กับน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 5 ส่วนในพัน เพื่อใช้ในการบ่มไข่นั้น เพื่อศึกษาว่าจะทำให้คัพภะมีพัฒนาการที่เร็วขึ้น และมีอัตราการฟักสูงขึ้นหรือไม่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

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

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์. 2549. การใช้น้ำทะเลเทียมในระบบหมุนเวียนแบบปิดเพื่อผลิตกุ้งก้ามกราม. **ว. แม่โจ้ปริทัศน์.** 7(5) : 15-17.

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

เจษฎา อิสเหาะ. 2536. **ผลของระดับโปรตีนต่ออัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่เลี้ยงในน้ำเกลือสินเธาว์ที่ระดับความเค็มต่างๆกัน**.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

ธานี พูนดี. 2529. **การใช้อาหารผสมสมทบกับอาร์ทีเมียอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีรวัฒน์ สัมภวมานะ และ จรีภรณ์ มีศรี. 2548. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยไรแดงเสริมอาหารและอาร์ทีเมีย **เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2548. กรมประมง**. 17 หน้า

บุญรัตน์ ประทุมชาติ. 2545. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง**. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี

_____, พิชาญ สว่างวงศ์ และจอร์จ มาชาโด. 2546. ผลของความเค็มน้ำต่อขบวนการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงทางสรีระเคมีของปูทะเล(*Scylla serrata*). **รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยบูรพา**. 78 หน้า.

_____,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.

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

มั่นสิน ตันฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2538. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรม-ศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

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

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

วรรณนัฑ หิรัญชุฬาหะ และ คมน์ ศิลปาจารย์. 2548. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยใช้น้ำเกลือสินเธาว์. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2548. กรมประมง**. 19 หน้า

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

สมศักดิ์ วรคามิน. 2547. **The magic magnesium**. บริษัทสามเจริญพาณิชย์จำกัด. กรุงเทพฯ. 251 หน้า.

สุมาลี แสนจันทร์. 2536. **ผลของความเค็มที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งก้ามกรามวัยรุ่นที่เลี้ยงในน้ำเกลือสินเธาว์**.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุรังษี ทัพพะรังสี. 2550. การอนุบาลกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในระบบกรองน้ำหมุนเวียน. **ว. การประมง** 60(2): 137-144.

อนันต์ ตันสุตะพานิชย์. 2523. พัฒนาการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนโดยใช้เกลือสินเธาว์ เกลือสมุทร และน้ำเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **รายงานทางวิชาการโครงการทดลองค้นคว้า อบรมและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม**, กองประมงน้ำจืด, กรมประมง. 18 หน้า.

_____, ชำนาญ พงษ์ศรี, เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเตียว และ วงศ์ปฐม กมลรัตน์. 2526. แนวทางเพิ่มผลผลิตลูกกุ้งก้ามกราม(เพาะเลี้ยงลูกกุ้งในน้ำเกลือผสม). **รายงานวิชาการกรมประมง**, กรมประมง. 34หน้า.

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

_____, สมศักดิ์ สิงหลกะ และ พลพจน์ กิตติสุวรรณ. 2528. ผลเบื้องต้นของการทดลองเลี้ยงกุ้งแชบ๊วยวัยรุ่นในน้ำเกลือสินเธาว์. **รายงานวิชาการกรมประมง**, กรมประมง. 9 หน้า.

_____ และ สุพล ตั่นสุวรรณ. 2552. การอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaus monodon* Fabricius) โดยใช้น้ำทะเลที่เตรียมจากน้ำทะเลผงธรรมชาติ. **เอกสารวิชาการฉบับที่1/2552**, กรมประมง. 16 หน้า.

Aiken, D.E., and S.D. Waddy. 1978. Relationship between space, density and growth of juvenile lobsters, Homarus americanus, in culture tank. **Proc. World Mar. Soc**. 5: 461-467.

Ang, K.J. 1996. A recirculated biostream hatchery system for larval culture of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man), pp. 202-203. *In* Cresswell, L.R. (Ed), **Abstract of World Aquaculture 1996,29 January-2 February 1996, Baton Rouge, Bangkok, Thailand**. World Aquaculture Society.

APHA, AWWA and WPCF. 1975. **Standard method for the examination of water and waste water 13th ed.** Washington, D.C., American Public Health Association.

Arcier J.M., F. Herman, D.V. Lightner, R.M. Redman, J. Mari and J.R. Bonami. 1999. A viral diseases associated with mortalities in hatchery-reared postlarvae of the giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii. **Dis. of Aquatic Organism**. 38: 177-181.

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.

Arsenault, A.L., J.D. Castell and F.P. Ottensmeyer. 1984. The dynamics of exoskeletal-epidermal structure during molt in juvenile lobster by electron microscopy and electron spectroscopic imaging. **Tissue and Cell** 16: 93-106.

Boyd, C.E. 1987. **Water Quality Management for Brachishwater Ponds with Emphasis on Shrimp farming in Thailand**. Aubern, Alabama.

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

Cameron, J.N., 1985. Post-moult calcification in the blue crab (*Callinectes sapidus*):Relation ships between apparent net H^+excretion, calcium and bicarbonate. **J. Exp. Biol**. 119: 275-285.

Camaron, J.N. 1985. Molting in the blue crab **Sciencetific**. 252(5): 78-83.

Castile, F.L.Jr. and A.L. Lawrence. 1981. A comparision of osmotic, sodium and chloride concentration between the urine and hemolymph of *Penaeus setiferus* (L.) and Penaeus stylirostris Stimpson. **Comp. Biochem. Physiol.A**. 70: 525-528.

Cheng, W., L. Chun-Hung, C. Chih-Hsin and C. Jiann-Chu. 2001. Hemolymph oxyhemocyanin, protein, osmolality and electrolyte levels of *Macrobrachium rosenbergii* in relation to size and molt stage. **Aquaculture**. 198: 387-400.

Compère, P. and G. Goffinet. 1987. Ultrastructural shape and three-dimensional organization of the intracuticular canal system in the mineralized cuticle of the green crab *Carcinus maenas* during the molting cycle. **Tissue and Cell** 19: 859-875.

Correia, E.S., S. Sywanatous and M.B. New. 2000. Flow-through hatchery system and management, pp. 52-68. *In* M.B. New and W.C. Valenti, eds. **Freshwater Prawn Culture The Farming of *Macrobrachium rosenbergii***. Blackwell Science, Osney MeadOxford.

Cowthorne, D.F., T. Beard, J. Davenport and J.F. Wickins. 1983. Responses of juvenile *Penaeus monodon* Fabricus to natural and artificial sea waters of low salinity. **Aquaculture**. 32: 165–174.

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.

Dall, W. 1974. Osmotic and ionic regulation in the weatern rock lobster. *Panulirus longipes* (Milne-Edwards). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol**. 15: 91-125.

Damrongphol, P., N. Eangchuan and B. Poolsaguan. 1991. Spawning cycle and oocyte maturation in laboratories maintained giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. **Aquaculture**. 95: 347-357.

_____, P. Jaroensastraraks and B. Poolsanguan. 2001. Effect of various medium compositions on survival and hatching rates of embryos of the giant freshwater prawn(*Macrobrachium rosenbergii*) cultured *in vitro* . **Fisheries Science**. 67: 64-70.

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.

Funge-Smith, S.J., A.C. Taylor, J. Whitley and J.H. Brown. 1995. Osmotic and ionic regulation in the giant Malaysian fresh water prawn, Macrobrachium rosenbergii(deMan), with special reference to strontium and bromine.**Comp.Biochem.Physiol**.110(4): 357-365.

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 correlates of water chemistry requirements in fairy shrimps (Anostraca) from Southern California. **J. Crust. Biol**. 16(2 : 315–322.

Green, J.P. and M.R. Neff. 1972. A survey of the fine structure of the integument of the fiddler crab. **Tissue Cell**. 4: 137-171.

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

_____. 1981. Sodium regulation in freshwater/land crab *Holthuisana transversa*. **J. Comp. Physiol B.** 142: 451-456.

_____. 1985. Calcium balance and moulting in the Crustacea. **Biol Rev.** 60: 425-454.

Greenfield, M.E., D.C. Wilson and M.A. Grenshaw. 1984. Ionotropic nucleation of calcium carbonate by molluscan matrix. **Amer. Zool.** 24: 925-932.

Gunthope, M.E., Sikes, C.S. and Wheller, A.P. 1990. Promotion and inhibition of calcium carbonate crystallization *in vitro* matrix protein from blue crab exoskeleton. **Biol. Bull**. 179 : 191-200.

Gwinn, J.F. and J.R. Stevenson. 1973. Role of acetylglucosamine in chitin synthesis in crayfish II. Enzymes in the epidermis for incorporation of acetylglucosamine into UDP-acetyl-glucosamine. **Comp. Biochem. Physiol B**. 45: 777-785.

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.

Hanson, J.A.and H.L. Goodwin.1977. **Shrimp and prawn farming in the western hemisphere**. Dowden, Hutchingson and Ross, Inc. Stroudburg Pensylvania.

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.

Huong D.T.T., Y. Wei-Jun, O. Atsuro and M. N. Wilder. 2001. Change in free amino acids in the hemolymph of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* exposed to varying salinities: relationship to osmoregulatory ability. **Comp. Biochem. Physiol. A**. 128: 317-326.

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.

Jayachandran, K.V., 2001. **Palaemonid prawns biodiversity, taxonomy, biology and management**. Science Publishers. India.

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.

Knowles, F.G.W. and D.B. Carlisle. 1956. Endocrine control in the Crustacea. **Biol Rev**. 31: 396-473.

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.

Kovalenko, E. E., R. D. Louis, L.O. Cortney and K.B. Randal. 2002. A succesfull microbound diet for the larval culture of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. **Aquaculture** 210: 385-395.

Law A.T., Y.H. Wong and B.A. Ambok. 2002. Effect of hydrogen ion on *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) egg hatchability in brackish water. **Aquaculture.** 214: 247-251.

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.

Lee D.O. and J.F. Wickins. 1992. **Crustacean farming**. Blackwell Scientific Publication, Oxford

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.

_____. 1983. Oxygen Transport in the Blood, pp. 273-429. *In* D.E. Bliss ed. **The biology of crustacea vol.5**. Academic Press, New York.

_____. 1992. Physiological aspects of molting in the blue crab *Callinectes sapidus* **Amer. Zool**. 32: 459-469.

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.

Marques H.L.A., J.V. Lombardi and M.V. Boock. 2000. Stocking density for nurery phase culture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in cages. **Aquaculture.** 87: 127-132.

Martin, D.F. 1972. **Marine Chemistry Vol 1**. Marcel Ducker Inc, New york.

Menasveta, P. and S. Piyatiratitivorakul. 1980. A comparative study on larviculture techniques for the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man)**Aquaculture**. 20:139-249.

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

Mykles, D.L. 1980. The mechanism of fluid absorption at ecdysis in lobster Homarus *americanus*, and Dungeness crab *Cancer magister*. **J. Exp. Biol.** 84: 89-101.

_____,M.F. Haire and D.M. Skinner. 2000. Immunocytochemical localization of actin and tubulin in the integument of land crab (*Gecarcinus lateralis*) and lobster (*Homarus americanus*). **J. Exp. Biol.** 286(4): 329-342.

New, M.B. 1988. Freshwater prawns: Status of global aquaculture 1987. Naca Technical **Manual 6**. 58 pp.

_____. 1990. Freshwater prawn culture:a review. **Aquaculture** 88, 99-143.

New, M.B. and S. Singholka. 1995. Freshwater prawn farming. A manual for the culture Of *Macrobrachium rosenbergii.* **FAO Fisheries Technical Paper 225 (Rev 1)**.FAO, Rome.

_____. and W.C. Valenti. 2000. Freshwater Prawn Culture The Farming of *Macrobrachium rosenbergii*. Blackwell Science.

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

Passano, L.M. 1960. Molting and its control, pp. 473-536. *In* T.H. Waterman, ed. **The physiology of crustacea, Vol. 1**. Academic Press, New York.

Pratoomchat, B. 2002. **Characterization of calcification during the growth cycle of *Scylla serrata***. The doctor in aquatic science thesis. Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar, Porto.

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.

Qureshi, T.A., S.M. Basha and R. Biwas. 1993. Larval rearing of Indian river prawn *Macrobrachium malcolmsomii* through synthetic seawater. Limnol. Barkatullah Univ., Bhopoal 462026, India. From discovery to commercialization. **Oostende Bellgium European Aquaculture Society**. 19: 158.

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.

Roer, R. and R. Dillaman. 1984. The structure and calcification of the crustacean cuticle. **Amer. Zool.** 24: 893-909.

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.

Sandifer, A. P., J.H Hopkins and T.I. Smith. 1975. Observation on salinity tolerance and osmoregulation in laboratory reared *Macrobrachium rosenbergii* post larvae(Crustacea: caridea). **Aquaculture**. 6: 103-114.

Sandifer, A.P. and Smith, I.T. 1985. Freshwater prawn, pp. 63-118. *In* J.V. Huner and E.E. Brown, eds. **Crustacean and Mollusk Aquaculture in The United States**. Avi Publishing Company Inc, Westport, Connecticut.

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.

Shaw, J. 1961. Studies on ionicregulation in *Carcinus maenus*. **J. Exp. Biol**. 38: 135-152.

Singh, T. 1980. The iso osmotic concept in relation to the aquaculture of the giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. **Aquaculture**. 20: 251-256.

Tansakul.R. 1983. Progress in Thailand rearing larvae of the giant prawn *Macrobrachium rosenbergii*. **Aquaculture**. 31, 95-98.

Thapa, A.B. 2002. **Effect of different sources of salt water and ionic concentrations on larval nursing of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) de Man**.Master of science thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Thurman, H.V. 1994. **Introductory Oceanography. 7th ed**. Macmillan. 550 pp.

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.

_____. 1965. The deposition of skeletal structures in the crustacea. V. The histomorphological and histochemical changes associated with the development and calcification of the branchial exoskeleton in the crayfish *Orconectes virilis* **Hagen Acta Histochem.** 20:193-233.

_____. 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.

Valenti, W.C. and W.H. Daniels. 2000. Recirculation hatchery system and management, pp. 69-90. *In* M.B. New and W.C. Valenti, eds. **Freshwater Prawn Culture The Farming of *Macrobrachium rosenbergii***. Blackwell Science, Osney Mead, Oxford.

Vigh, D.A. and J.E. Dendinger. 1982. Temporal relationships of postmolt deposition of calcium, magnesium, chitin and protein in the cuticle of the Atlantic blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. **Comp. Biochem. Physiol A**. 72(2): 365-369.

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.

Welinder, B.S. 1975. The crustacean cuticle III: Composition of the individual layers in *Cancer pagurus* cuticle. **Com. Biochem. Physiol A**.52: 659-663.

Wkeatly, M.G. 1985. Free amino acid and inorganic ions regulation in the whole muscle and hemolymph of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun in relation to the molting cycle. **J. Crust. Biol**. 5(2): 223-233.

Wickins,J.F. and D.O.C. Lee. 1992. **Crustacean farming**. Blackwell Scientific Publications.

Wilder M.N., I. Kazumasa, A. Muharijadi, H. Tamao and K. Kosei. 1998. Changes in osmotic and ionic concentrations in the hemolymph of *Macrobrachium rosenbergii* exposed to vary salinities and correlation to ionic and crystalline composition of cuticle. **Comp. Biochem. Physiol. A**. 119: 941-950.

Ziegler, A., 1997. Immunocytochemical localization of Na^{+}, K^{+}-ATPase in the calcium-transporting sternal epithelium of the terrestrial isopod *Porcellio scarber* L. (Crustacea) **J. Histochem Cytochem.** 45(3): 437-446.

Zang, Z., X. Dai, J. Zhang, and Z. Zhu. 1995. Effect of Mg^{2+}, Ca^{2+} and Mg^{2+}/Ca^{2+} contents on survival rates of *Macrobrachium rosenbergii* larvae reared in mixed water. **Oceanologia et Limnologia Sinica**. 26: 552-557.

ภาคผนวก

อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกราม

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้มีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในการทดลองที่ 1 3 และ 4 ซึ่งสามารถรวบรวมผลอัตราการรอดตายได้ดังตารางต่อไปนี้ (ตารางที่ 1 2 และ 3)

ตารางผนวกที่ 1 อัตราการรอดของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็มที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่เตรียมจากแหล่งน้ำเค็มต่างกัน ในตู้ทดลองความจุ 50 ลิตร ที่มีระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด

แหล่งน้ำเค็ม	อัตราการรอด(เปอร์เซ็นต์)
น้ำนาเกลือ (ชุดควบคุม)	21.26 ± 7.78^{a}
น้ำทะเลเทียม	28.63 ± 3.21^{a}
น้ำเกลือสินเธาว์ที่ชดเชยแร่ธาตุแล้ว	0

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 2 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มที่มีการเสริมแร่ธาตุ

การเสริมแร่ธาตุ	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)
ไม่เสริมแร่ธาตุ(ชุวบคุม)	26.12 ± 0.43^{a}
เสริมแร่ธาตุโพแทสเซียม	$31.62 + 0.58^{b}$
เสริมแร่ธาตุแมกนีเซียม	33.38 ± 1.63^{bc}
เสริมแร่ธาตุโพแทสเซียม และแมกนีเซียม	35.00 ± 1.21^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 3 อัตราการอดตายในระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการบ่มไข่ที่ระดับความเค็มต่างกัน

ความเค็มที่ใช้บ่มไข่	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)				
	วันที่ 1-17	วันที่ 19	วันที่ 24	วันที่ 26	วันที่ 30
5 ส่วนในพัน	100.00	100.00	84.00	79.33	27.04
15ส่วนในพัน	100.00	100.00	86.00	69.00	18.13
25ส่วนในพัน	100.00	97.67	86.67	68.67	19.23

อัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นต่อแม่กุ้งทั้งหมดที่บ่มไข่ในระดับความเค็มต่างกัน

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้มีการทดลองบ่มไข่แม่กุ้งในระยะที่มีไข่ติดหน้าท้องในน้ำทะเลเทียมที่มีระดับความเค็ม 3 ระดับ โดยมีผลการพัฒนาของตัวอ่อนในระยะคัพภะโดยดูจากอัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นต่อแม่กุ้งทั้งหมดในตู้ทดลองดังตารางผนวกที่ 4

ตารางผนวกที่ 4 อัตราส่วนของแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเต้นต่อแม่กุ้งทั้งหมดในตู้ทดลอง ในการทดลองบ่มไข่ในน้ำเค็มที่ระดับความเค็ม 5, 15 และ 25 ส่วนในพันเป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	ช่วงระยะเวลาที่บ่มไข่ (วัน)				
	1-6	7	8	9	10
5	0	34.43 ± 15.03^{a}	34.43 ± 15.03^{a}	38.87 ± 9.64^{a}	44.43 ± 9.64^{a}
15	0	40.00 ± 17.32^{a}	40.00 ± 17.32^{a}	44.43 ± 9.64^{a}	44.43 ± 9.64^{a}
25	0	20.00 ± 0.00^{a}	20.00 ± 0.00^{a}	20.00 ± 0.00^{b}	28.87 ± 7.68^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$)

การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุหลักทั้ง 5 ชนิดในน้ำทะเลเทียมที่ใช้บ่มไข่ และในพลาสมาของแม่กุ้ง

ในการทดลองบ่มไข่กุ้งก้ามกรามนี้ มีการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลเทียมที่ใช้บ่มไข่ และเลือดของแม่กุ้งก้ามกรามเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุหลัก 5 ชนิด ซึ่งได้ผล ดังนี้ (ตารางผนวกที่ 5-9)

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณของโซเดียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน และในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	ปริมาณโซเดียมในน้ำ (มิลลิโมล/ลิตร)		ปริมาณโซเดียมในพลาสมา (มิลลิโมล/ลิตร)	
	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่
5	64.26±8.45[a]	46.02±2.11[b]	289.44±14.91[a]	291.52±21.27[a]
15	199.36±4.03[a]	155.07±16.95[b]	272.91±18.08[a]	273.92±21.61[a]
25	287.21±7.22[a]	243.22±6.70[b]	277.29±7.99[a]	275.73±23.41[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณของแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน และในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำ (มิลลิโมล/ลิตร)		ปริมาณแมกนีเซียมในพลาสมา (มิลลิโมล/ลิตร)	
	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่
5	9.65±0.45[a]	3.66±0.44[b]	4.04±0.17[a]	3.97±0.16[a]
15	23.93±1.29[a]	18.95±0.72[b]	4.07±0.17[a]	4.10±0.17[a]
25	36.57±0.47[a]	36.61±0.33[a]	4.04±0.17[a]	3.93±0.16[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณของโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพันและในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำ (มิลลิโมล/ลิตร)		ปริมาณโพแทสเซียมในพลาสมา (มิลลิโมล/ลิตร)	
	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่
5	2.43±0.19[a]	2.35±0.10[a]	5.24±0.13[a]	4.81±0.12[a]
15	5.24±0.45[a]	5.00±0.40[a]	4.99±0.13[a]	4.87±0.12[a]
25	7.73±0.56[a]	7.39±0.17[a]	5.24±0.13[a]	5.26±0.13[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณของแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพันและในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	ปริมาณแคลเซียมในน้ำ (มิลลิโมล/ลิตร)		ปริมาณแคลเซียมในพลาสมา (มิลลิโมล/ลิตร)	
	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่
5	1.96±0.04[a]	1.94±0.16[a]	3.03±0.08[a]	2.92±0.07[a]
15	4.82±0.83[a]	5.13±0.81[a]	3.21±0.08[a]	2.94±0.07[a]
25	7.82±0.64[a]	7.95±0.25[a]	2.93±0.07[a]	3.03±0.08[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณของคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน และในพลาสมาแม่กุ้งก้ามกราม เปรียบเทียบระหว่าง ก่อนการบ่มไข่ และหลังการบ่มไข่เป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (ส่วนในพัน)	ปริมาณคลอรีนในน้ำ (มิลลิโมล/ลิตร)		ปริมาณคลอรีนในพลาสมา (มิลลิโมล/ลิตร)	
	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่	ก่อนบ่มไข่	หลังบ่มไข่
5	61.57±5.96[a]	60.97±6.47[a]	191.10±5.39[a]	190.16±5.36[a]
15	194.74±1.27[a]	194.90±1.73[a]	205.29±5.79[a]	194.73±5.49[a]
25	331.62±3.90[a]	326.23±11.77[a]	305.71±11.32[a]	295.71±17.95[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

การเปรียบเทียบอัตราการฟักไข่ที่ผ่านการบ่มในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็มต่างกัน

ในการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้มีการทดลองบ่มไข่ในระยะที่ติดอยู่หน้าท้องแม่กุ้งในน้ำทะเลเทียมที่มีระดับความเค็มต่างกัน 3 ระดับเป็นเวลา 10 วัน แล้วจึงนำมาทำการฟักไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ซึ่งมีผลของอัตราการฟักไข่ดังตารางผนวกที่ 10

ตารางผนวกที่ 10 อัตราการฟักไข่ของกุ้งก้ามกรามที่ผ่านการบ่มไข่ในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม5 15 และ 25 ส่วนในพัน เป็นเวลา 10 วัน

ระดับความเค็มในการบ่มไข่(ส่วนในพัน)	อัตราการฟัก (ร้อยละ)
5	53.40±0.69[a]
15	46.09±0.91[b]
25	37.92±0.91[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแร่ธาตุ ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุโซเดียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียบที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในระบบปิดได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุโซเดียมในช่วงระยะเวลาต่างๆของการอนุบาล ซึ่งผลการทดลองพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีปริมาณธาตุโซเดียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลดังตารางผนวกที่ 11 12 และ 13

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณโซเดียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	218.29	229.60	169.41	239.97	198.76	188.13	124.91
2	235.53	184.72	158.66	193.09	186.68	145.20	189.33
3	225.16	182.14	173.37	196.23	156.40	206.56	188.39

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณโซเดียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	235.90	201.27	193.21	160.22	181.82	202.36	185.35
2	202.72	179.28	211.11	188.94	196.66	182.45	161.98
3	206.72	187.97	191.38	212.51	192.78	207.63	162.89

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณโซเดียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณโซเดียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	287.88	242.08	178.25	251.97	209.99	165.49	146.64
2	240.65	187.13	164.87	201.49	250.62	159.89	156.94
3	231.03	187.68	180.90	203.91	163.54	217.34	178.27

การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียบที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในระบบปิดได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแมกนีเซียมในช่วงระยะเวลาต่างๆของการอนุบาล ซึ่งผลการทดลองพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีปริมาณธาตุแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลดังตารางผนวกที่ 14 15 และ 16

ตารางผนวกที่ 14 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	21.25	20.20	21.54	16.44	18.36	15.29	14.78
2	23.08	23.52	19.53	19.69	15.66	15.75	15.08
3	23.27	24.23	19.54	16.88	19.01	17.23	13.03

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	20.32	17.88	19.34	17.65	16.24	15.65	15.06
2	21.03	17.23	16.12	19.36	16.10	16.50	13.09
3	21.57	19.00	17.52	18.94	16.59	13.44	15.12

ตารางผนวกที่ 16 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำทะเลเทียม ที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน ที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	21.70	20.85	22.23	23.96	17.16	15.71	15.23
2	23.41	23.72	19.97	15.99	16.76	19.52	15.46
3	24.44	24.72	20.06	19.43	21.81	16.56	13.40

การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในระบบปิดได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุโพแทสเซียมในช่วงระยะเวลาต่างๆของการอนุบาล ซึ่งผลการทดลองพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลดังตารางผนวกที่ 17 18 และ 19

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	4.86	5.05	4.88	4.60	4.07	4.40	4.64
2	5.56	4.89	5.88	4.93	4.66	5.11	4.41
3	4.94	4.96	5.83	4.99	4.24	4.61	4.50

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	5.19	4.82	4.80	4.90	4.81	4.86	4.86
2	5.66	4.75	4.45	4.59	4.60	4.84	4.83
3	5.50	5.25	4.63	4.44	4.52	5.00	4.75

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	5.25	4.90	4.79	3.91	4.81	4.21	4.59
2	5.49	4.71	4.52	4.56	4.76	4.38	4.90
3	5.30	4.79	4.93	4.18	4.18	4.86	4.77

การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในระบบปิดได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแคลเซียมในช่วงระยะเวลาต่างๆของการอนุบาล ซึ่งผลการทดลองพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีปริมาณธาตุแคลเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลดังตารางผนวกที่ 20 21 และ 22

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณแคลเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	5.60	6.54	6.03	6.38	5.47	5.73	6.01
2	6.33	5.67	6.71	6.09	5.79	5.62	6.27
3	5.40	6.38	5.82	5.50	5.81	5.78	5.71

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณแคลเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	5.61	5.90	5.78	4.94	5.31	6.16	4.34
2	5.67	5.74	5.47	5.10	5.84	5.11	5.55
3	4.93	5.68	5.60	5.66	5.94	5.24	6.19

ตารางผนวกที่ 22 ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณแคลเซียมในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	5.61	6.35	5.92	5.25	5.49	6.34	5.88
2	6.26	5.46	6.62	5.66	5.55	6.04	6.22
3	5.26	6.16	5.69	5.73	5.53	5.64	5.66

การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุคลอรีนในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันในระบบปิดได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุคลอรีนในช่วงระยะเวลาต่างๆของการอนุบาล ซึ่งผลการทดลองพบว่าลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 15 และ 25 ส่วนในพัน มีปริมาณธาตุคลอรีนในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลดังตารางผนวกที่ 23 24 และ 25

ตารางผนวกที่ 23 ปริมาณคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณคลอรีนในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	238.61	233.66	232.19	243.91	234.46	240.91	241.93
2	232.31	236.88	233.27	237.27	228.30	236.85	237.01
3	237.36	235.49	232.17	238.24	235.16	241.44	233.77

ตารางผนวกที่ 24 ปริมาณคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่ผ่านการบ่มที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณคลอรีนในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	247.15	242.09	244.82	239.58	241.30	250.62	251.40
2	246.10	245.18	240.83	243.92	243.53	247.52	247.52
3	244.44	242.95	249.95	241.81	244.64	248.00	250.74

ตารางผนวกที่ 25 ปริมาณคลอรีนในน้ำทะเลเทียมที่ระดับความเค็ม 15 ส่วนในพันที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ฟักจากไข่ที่บ่มที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน

การทดลองซ้ำที่	ปริมาณคลอรีนในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม(มิลลิโมล/ลิตร)						
	วันที่1	วันที่5	วันที่10	วันที่17	วันที่19	วันที่26	วันที่30
1	238.94	226.71	227.61	225.16	234.38	230.94	236.67
2	229.71	227.82	230.12	223.33	236.23	231.21	235.24
3	231.22	227.49	227.12	231.99	231.55	235.22	231.51

อภิธานศัพท์

ตารางผนวกที่ 26 อภิธานศัพท์

คำศัพท์	ความหมาย
การบ่มไข่ (incubation)	การนำแม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้องมาเลี้ยงจนไข่มีพัฒนาการเต็มที่ภายใต้ปัจจัยต่างๆ
ไข่ในระยะแกสตรูลา(gastrula stage)	ไข่กุ้งที่ติดหน้าท้องแม่กุ้ง โดยที่ตัวอ่อนที่อยู่ภายในไข่นั้นมีการพัฒนาจนถึงระยะแกสตรูลา ในระยะนี้ไข่จะมีสีส้ม

ตารางผนวกที่ 26 (ต่อ)

คำศัพท์	ความหมาย
ไข่ในระยะหัวใจเต้น (heart beating stage)	ไข่กุ้งที่ติดหน้าท้องแม่กุ้ง โดยที่ตัวอ่อนที่อยู่ภายในไข่นั้นมีการพัฒนาจนมีหัวใจเต้น ในระยะนี้ไข่จะมีสีเทา
แม่กุ้งไข่เทา (ripe berried female)	แม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้อง โดยที่ตัวอ่อนที่อยู่ภายในไข่นั้นมีการพัฒนาจนกระทั่งมีหัวใจเต้นอยู่ภายใน
แม่กุ้งไข่ส้ม (unripe berried female)	แม่กุ้งที่มีไข่ติดหน้าท้อง โดยที่ตัวอ่อนที่อยู่ภายในไข่นั้นมีการพัฒนาในระยะแกสตรูลา
ระยะพัฒนาการ (metamorphosis stage)	การพัฒนาของลูกกุ้งก้ามกรามโดยการลอกคราบเข้าสู่ระยะใหม่ ซึ่งก่อนที่จะถึงระยะโพสลาวานั้นมีพัฒนาการอยู่ 11 ระยะ
ระยะโพสลาวา (postlarval stage)	ระยะที่ลูกกุ้งก้ามกรามมีพัฒนาการจนมีอวัยวะครบถ้วนเหมือนกุ้งโตเต็มวัย และมีการว่ายน้ำในท่าคว่ำ
Deamination	กระบวนการขจัดเอาหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ออกจากเซลล์เพื่อรักษาสมดุลปริมาตร ทำให้ระดับแอมโมเนียในเลือดสูงขึ้น
Endocuticle	เปลือกชั้นใน
Epicuticle	ผิวเปลือก
Exocuticle	เปลือกชั้นนอก
Hepatopancrease	ตับและตับอ่อนซึ่งรวมกันอยู่ในอวัยวะเดียวกันของสัตว์ในกลุ่มกุ้ง ปู

ตารางผนวกที่ 26 (ต่อ)

คำศัพท์	ความหมาย
Hyporegulation	สภาวะที่สัตว์พยายามรักษาระดับความเข้มข้นของเลือดให้ต่ำกว่าความเข้มข้นของน้ำอยู่ตลอดเวลา
Hyper-ionic regulation	สภาวะที่สัตว์พยายามควบคุมปริมาณแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่ง ในเลือดมีความเข้มข้นสูงกว่าในน้ำ
Hypo-ionic regulation	สภาวะที่สัตว์พยายาควบคุมแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่ง ในเลือดมีความเข้มข้นต่ำกว่าในน้ำ
Isosmotic point	จุดที่ความเค็มของน้ำมีค่า ออสโมลาลิตี้เท่ากับในเลือด
Iso-ioic npoint	จุดที่ความเข้มข้นของแร่ธาตุชนิดใดชนิดในเลือดหนึ่งเท่ากับในน้ำ (มักแสดงผลเป็นระดับความเค็ม)
Osmotic stress	สภาวะเครียดของสัตว์ที่ต้องทนอาศัยอยู่ในน้ำที่มีระดับความเค็มสูงหรือต่ำจนเกินไปกว่าความสามารถในการควบคุมสมดุลออสโมติก
Sclerotinization	กระบวนการนำสารอินทรีย์ โปรตีน คาร์โบไฮเดรท และไคตินไปใช้ในโครงสร้างเปลือก

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายกระสินธุ์ หังสพฤกษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	7 เมษายน 2508
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานครฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ วท.ม. (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ ระดับ 7
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- ทุนพัฒนาอาจารย์ในสาขาที่ขาดแคลน สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ (พ.ศ. 2545) - ทุนวิจัยจากกสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (พ.ศ. 2547) - ทุนวิจัยจากสำนักวิจัยฯมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (พ.ศ. 2547)