



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่าในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

**Nursing of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in Closed
Recirculating System**

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การผลิตสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มความปลอดภัย
ด้านอาหาร

โดย

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556

รหัสโครงการ มจ.1-55-055.8



รายงานผลการวิจัย

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่าในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

**Nursing of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in
Closed Recirculating System**

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การผลิตสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มความปลอดภัย
ด้านอาหาร

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555

จำนวน 200,000 บาท

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายกระสินธุ์ หังสพฤกษ์

งานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

05/ 03 / 2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่าในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด Nursing of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in Closed Recirculating System ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับการอุดหนุนทุนการวิจัยจาก สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2554 มาแล้ว อีกทั้งยังได้รับการสนับสนุนต่อเนื่องในปีงบประมาณ 2555 ทำให้ผลการวิจัยสมบูรณ์ขึ้น ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณาจารย์ ข้าราชการ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และช่วยเหลือในการทดลอง ตลอดจนสถานที่ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	32
ผลการวิจัย	39
วิจารณ์ผลการวิจัย	42
สรุปผลการวิจัย	43
เอกสารอ้างอิง	44

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	พัฒนาการของไข่กึ่งก้ามกรามที่ติดยาวน้ำของแม่กุ้งหลังจากได้รับการปฏิบัติแล้ว
ตารางที่ 2	อัตราการรอด ของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยไร่น้ำกร่อย และอาร์ทีเมีย
ตารางที่ 3	ระดับความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม
ตารางที่ 4	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม
ตารางที่ 5	ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม
ตารางที่ 6	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม
ตารางที่ 7	ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำที่ใช้ออนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม
ตารางที่ 8	อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มที่มีการเสริมแร่ธาตุ
ตารางที่ 9	คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการทดลอง

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของกิ้งก่ามกราคม	8
ภาพที่ 2 ขาวายน้ำคูล์ที่ 2 ของกิ้งก่ามกราคม เพศเมียซึ่งไม่มี Appendix masculina (ก) เมื่อเทียบกับ เพศผู้ซึ่งมี Appendix masculina (ข)	10
ภาพที่ 3 วงจรชีวิตของกิ้งก่ามกราคมในธรรมชาติ	11
ภาพที่ 4 การกระตุ้นไปโอบอลเพื่อให้มีแบคทีเรียไนโตรฟายเออร์มาเกาะ	33
ภาพที่ 5 พัฒนาการของลูกกิ้งก่ามกราคมทั้ง 12 ระยะ	35
ภาพที่ 6 แม่กิ้งก่ามกราคมที่มีไข่ ระยะต่างๆ	37
ภาพที่ 7 กระชังผ้าที่มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน สำหรับใช้ในการอนุบาลลูกกิ้งก่ามกราคมวัยอ่อน	38
ภาพที่ 8 บ่อซีเมนต์กลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร พร้อมทั้งติดตั้งระบบบำบัดน้ำ	38
ภาพที่ 9 อัตรการรอดตายของลูกกิ้งก่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	40
ภาพที่ 10 ระยะพัฒนาการของลูกกิ้งก่าตลอดการทดลอง	40

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่าในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

Nursing of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in Closed Recirculating System

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์

Krasindh Hangsapreurke

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

การทดลองเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มระบบปิด ในบ่อซีเมนต์กลม แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design) โดยที่ชุดการทดลองที่ 1 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันโดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร(ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันโดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร และให้ไข่ตุ๋นเป็นอาหารเสริม ส่วนชุดการทดลองที่ 3 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันโดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร และให้ไข่ตุ๋นที่เสริมด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นอาหารเสริม ผลการทดลองพบว่าในชุดการทดลองที่ 3 (ร้อยละ 38.90 ± 1.60) มีอัตราการรอดสูงกว่าลูกกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 (ร้อยละ 32.50 ± 2.66) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และลูกกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุม(ร้อยละ 23.36 ± 3.47) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ทุกชุดการทดลองมีพัฒนาการของลูกกุ้งไม่แตกต่างกันโดยที่มีระยะเวลาในการพัฒนาจนถึงระยะกว่าเป็นเวลา 26 วัน

คำสำคัญ: กุ้งก้ามกราม, อนุบาล, ระบบหมุนเวียนแบบปิด, สไปรูลิน่า

ABSTRACT

This experiment of *Spirulina platensis* supplingmenting for diet for Giant Freshwater Prawn juvenile rearing in the closed recirculating saline water system at 15 ppt salinity This experiment was CRD (completely randomized design) with 3 treatment and 3 replication. The treatment 1 using only artemia naupleus as food for larval rearing (control), the treatment 2 using artemia naupleus and poached eggs as food for larval rearing and the treatment 3 using artemia naupleus and poached eggs with *Spirulina platensis* as food for larval rearing. The result of this experiment shown the significant different ($P<0.05$), the highest survival rate found in treatment 3 (38.90 ± 1.60 %) treatment 2 (32.50 ± 2.66 %) and treatment 1 (23.36 ± 3.47 %) respectively. However, there was no difference in the development of the fresh water juvenile prawns (26 days old).

Key word: *Macrobrachium rosenbergii*, nursery, closed recirculatory system, *Spirulina platensis*

คำนำ

กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) เป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศ ไทย และยังนับว่าเป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกด้วย โดยมีชื่อที่ใช้เรียกทั่วไปว่า Giant River Prawn Giant Malaysian Prawn และ Giant Freshwater Prawn ส่วนชื่อสามัญในภาษาไทยนั้น มีการเรียกอีกหลายชื่อ เช่น กุ้งหลวง กุ้งนาง และ กุ้งใหญ่ ฯลฯ กุ้งชนิดนี้ เป็นกุ้งใน วงศ์ Palaemonidae ซึ่งแต่เดิมเคยใช้ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Palaemon carcinus* แต่ชื่อนี้ก็ได้ยกเลิกการ ใช้เรียกกันไปแล้ว และเนื่องจากการที่กุ้งชนิดนี้มีขนาดใหญ่ และกุ้งที่โตเต็มวัยแล้วมักอาศัยอยู่ ในน้ำจืด หรือน้ำกร่อยที่มีความเค็มต่ำ จึงเป็นเหตุให้มีการทำการประมงโดยการจับอย่างมากมาย จน มีจำนวนลดลงในธรรมชาติ จึงเป็นสาเหตุให้มีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ขึ้น เพื่อทดแทนปริมาณกุ้งที่ ถูกจับไปจากแหล่งน้ำในธรรมชาติ และเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

เมื่อมีความต้องการของตลาดสูงขึ้น ทำให้มีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยง จนกระทั่งประสบผลสำเร็จ โดยพบว่าในธรรมชาตินั้นกุ้งก้ามกรามเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะ อาศัยอยู่ในน้ำจืด เมื่อผสมพันธุ์และมีไข่ติดอยู่ที่ขาว่ายน้ำ (pleopods) หรือที่เรียกว่าแม่กุ้งมีไข่ติด ท้อง (berried female) แม่กุ้งก็จะอพยพไปอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย (brackishwater) เมื่อไข่กุ้งที่ติดอยู่ที่ ขาว่ายน้ำของแม่กุ้งมีการพัฒนาของตัวอ่อน จะปรากฏให้เห็นโดยสังเกตได้จากสีของไข่ โดยจะ เปลี่ยนจากสีเหลือง เป็นสีส้ม หรือที่เรียกว่า “แม่กุ้งไข่ส้ม” (Unripe berried female) และเปลี่ยนเป็น สีน้ำตาลเข้มปนเทาเมื่อมีพัฒนาการของตัวอ่อนเต็มที่พร้อมจะฟักเป็นตัว หรือที่เรียกว่า “แม่กุ้งไข่ เทา” (Ripe berried female) แม่กุ้งจะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยนั้นจนกระทั่งไข่ฟักออกมาเป็นตัว อ่อน (larva) แม่กุ้งบางตัวจะอพยพกลับไปในแหล่งน้ำจืด แต่บางตัวก็ยังคงอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ กร่อยนั้น (Ling and Merican, 1961)

เมื่อลูกกุ้งฟักออกมาเป็นตัวอ่อนแล้ว หากอยู่ในน้ำจืดจะไม่สามารถลอกคราบ และมี พัฒนาการต่อไปได้ และจะต้องตายทั้งหมดภายใน 4 วัน แต่ถ้าหากอยู่ในน้ำจืดที่มีการนำน้ำทะเลมา ผสมในอัตรา 10–30 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ความเค็มประมาณ 8–18 ส่วนในพัน จะสามารถลอกคราบ และมีพัฒนาการเติบโตต่อไปได้ โดยจะมีการลอกคราบโดยเฉลี่ยประมาณ 2 วันต่อครั้ง ในช่วง 10 วันแรก หลังจากนั้นจะมีความถี่ของการลอกคราบลดลงเล็กน้อย และจากการลอกคราบนี้เองทำให้ สามารถแบ่งลูกกุ้งเป็นระยะๆ ในการพัฒนาของตัวอ่อนได้เป็น 12 ระยะ (Ling, 1962) จากที่ได้

กล่าวไปข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ความเค็มเป็นปัจจัยที่สำคัญในการอยู่รอด และพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

ในปัจจุบันกุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่เกษตรกรให้ความนิยมในการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ทั้งในภาคบริษัทขนาดใหญ่ และเกษตรกรรายย่อย ซึ่งในปี ค.ศ. 2000 มีรายงานผลผลิตกุ้งก้ามกรามทั่วโลกถึง 118,501 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 ทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จในการเพาะพัก และอนุบาลลูกกุ้ง ทำให้ต้องซื้อลูกกุ้งมาจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในภาคกลาง และต้องทำการขนส่งลูกกุ้งมาโดยการลำเลียงทางบก และทางเครื่องบิน จึงทำให้ลูกกุ้งมีราคาสูงถึงตัวละประมาณ 0.18 บาท ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ดังนั้นปัจจัยในการขนส่งจึงเป็นเหตุทำให้ลูกกุ้ง อ่อนแอ และมีอัตราการรอดตายต่ำ ซึ่งทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนลูกกุ้ง

สาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina platensis*) เป็น Cyanobacteria ที่นิยมใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพของคน เนื่องจากมีวิตามิน เกลือแร่ และโปรตีนสูงถึง 70 % ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุที่มีคุณค่าสูงอีกหลายชนิดเช่น Phycocyanin, Allophycocyanin, Betacarotene, Chlorophyll-a และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่น Gamma-linolenic acid:GLA อยู่ร้อยละ 20-30 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่ง GLA นี้เป็นกรดไขมันตัวหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจทางการแพทย์และอุตสาหกรรมเนื่องจากมีคุณสมบัติยับยั้งการแข็งตัวของเลือด ลดระดับความดันโลหิต ลดปริมาณคอเลสเตอรอล ควบคุมปริมาณ Prostaglandin ซึ่งช่วยรักษาเกี่ยวกับโรคหัวใจ และโรคภูมิแพ้ อีกทั้งรงควัตถุ Phycocyanin, Allophycocyanin สามารถนำมาใช้ในงานด้าน Immunoassays microscopy เนื่องจากมีคุณสมบัติเรืองแสง (Nakamura, 1982 ; Venkataraman, 1983)

นอกจากนั้นยังมีการใช้สาหร่ายสไปรูลินาสด (*Spirulina platensis*) ในการอนุบาลและเลี้ยงปลาชนิดแดงจนถึงระยะวางไข่อีกด้วย โดยพบว่าปลานิลมีอัตราการผสมพันธุ์ อัตราการฟัก ออกเป็นตัว และอัตราการรอดของลูกปลาสูงกว่าการใช้อาหารทั่วไป อีกทั้งพบว่าการใช้สาหร่าย

สไปรูลิน่าสด (*Spirulina platensis*) ยังเป็นการทำให้เนื้อปลาที่มีกรดไขมันจำพวก Linolenic acid, Gamma-linolenic acid สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั่วไป (Lu and Tekeuchi, 2003) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำสาหร่ายสไปรูลิน่าสด มาเป็นอาหารเสริมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina platensis*) ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนถึงระยะโพสลาวา

ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงผลของการเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina platensis*) ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนถึงระยะโพสลาวา เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบการอนุบาลลูกกุ้งเพื่อที่จะลดต้นทุนในการอนุบาลลูกกุ้ง และสามารถแข่งขันกับตลาดได้

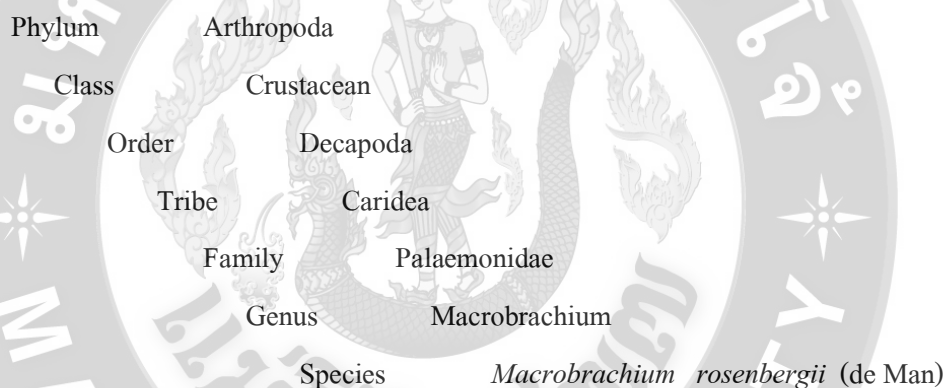


การตรวจเอกสาร

อนุกรมวิธาน ลักษณะภายนอก และชีววิทยาโดยทั่วไปของกุ้งก้ามกราม

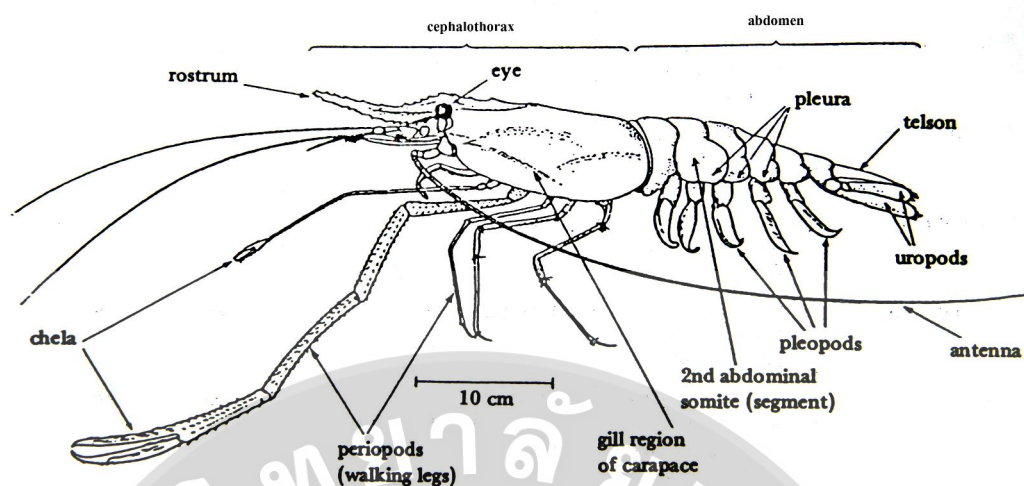
1. อนุกรมวิธาน

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



2. ลักษณะภายนอกโดยทั่วไป

กุ้งก้ามกรามโตเต็มวัยนั้นเป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด โดยมีน้ำหนักถึง 470 กรัม และมีความยาว 30 เซนติเมตร มีลำตัวเป็นปล้องแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หัว ออก 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 โคนกรีมีความกว้างมากกว่าปลายกรี โคนที่ปลายกรีจะยาวเลยแผ่นฐานหนวดคู่ที่ 2

2.2 ลักษณะของหนวดคู่ที่ 1 และ 2

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

2.3 ลักษณะของขาเดิน

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

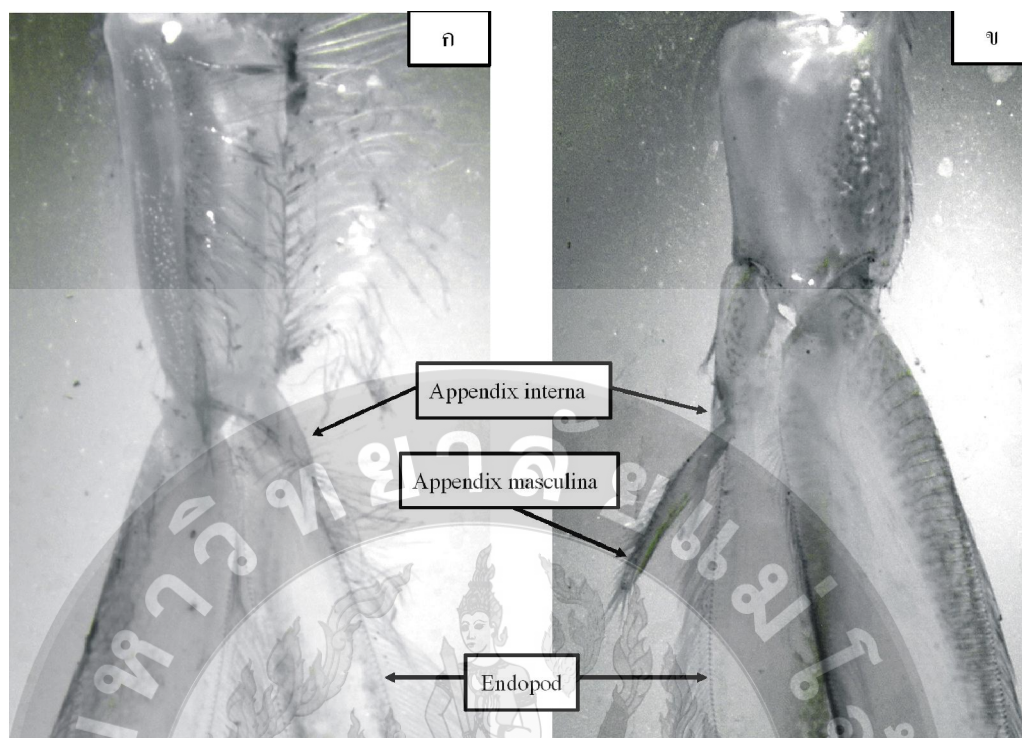
ตัวหนีบของปลายปล้องที่ 2 (propodus) ส่วนปล้องที่ 3 จะมีความยาวเป็น 2 เท่าของส่วนก้าม หรือยาวเท่ากับ 4/5 ของปล้องที่ 5

ขาเดินคู่ที่ 2 จะมีลักษณะที่แข็งแรง มีขนาดใหญ่ และยาวกว่าขาเดินคู่แรก ขาเดินของกิ้งก่ามกรามนั้นทั้งด้านซ้าย และขวามีขนาดเท่ากัน และเมื่อนำมาเหยียดตรงจะพบว่า ส่วนของปล้องที่ 4 (merus) จะมีความยาวเลขฐานหก ส่วนของก้ามหนีบจะบาง และสั้นกว่า ส่วนโคนก้ามในส่วนขอบด้านในของก้ามหนีบจะมีฟันที่โคน 3-4 ซี่ และปกคลุมด้วยขนอ่อนๆ ตลอดทั้งขา ขาเดินคู่ที่ 2 เป็นลักษณะที่บ่งชี้เพศของกิ้งก่ามกราม โดยในกิ้งก่ามกรามเพศผู้จะมีขนาดใหญ่กว่าเพศเมีย (ภาพที่ 2)

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

2.4 ลักษณะของขาว่ายน้ำ

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



ภาพที่ 2 ขาวายนาคูที่ 2 ของกึ่งก้ามกราม เพศเมียซึ่งไม่มี Appendix masculina (ก) เมื่อเทียบกับ เพศผู้ซึ่งมี Appendix masculina (ข)

3. ชีวิตวิทยาโดยทั่วไปของกึ่งก้ามกราม

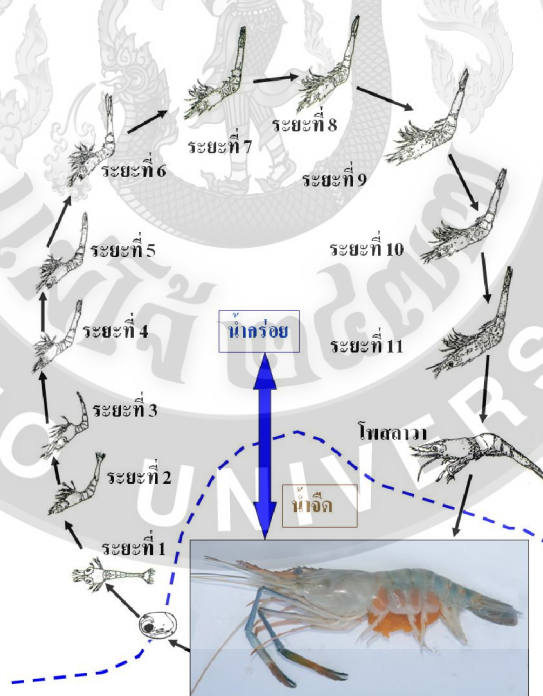
3.1 การแพร่กระจายของกึ่งก้ามกราม

กึ่งก้ามกรามเป็นกุ้งขนาดใหญ่ชนิดหนึ่งที่มีการแพร่กระจายอยู่ในเขตร้อน พบได้ในภูมิภาคอินโด-แปซิฟิกตะวันตก เช่น ประเทศ อินเดีย มาเลเซีย สิงคโปร์ ไทย บอร์เนียว นิวกินี และฟิลิปปินส์ (สุคติ, 2529; Arrignon *et al.*, 1994) โดยพบในแม่น้ำ ลำคลอง และแหล่งน้ำทั่วไปตลอดจนบริเวณปากแม่น้ำในบริเวณที่มีอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ส่วนในประเทศไทยนั้นพบว่า มีกึ่งก้ามกรามกระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ และส่วนใหญ่จะมีความชุกชุมในบริเวณจังหวัดที่ตั้งอยู่บนฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และทะเลสาบสงขลา (จักรตุพร, 2536)

3.2 ชีวิตประวัติของกึ่งก้ามกราม

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

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



ภาพที่ 3 วงจรชีวิตของกุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ

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

3.3 พัฒนาการของไข่และตัวอ่อนกึ่งก้ำกราม

Damrongphol *et. al.* (1991) ได้รายงานไว้ว่า ไข่ของกึ่งก้ำกรามก่อนที่จะได้รับการผสมพันธุ์ จะมีการพัฒนาอีก 5 ระยะซึ่งมีลักษณะ ดังนี้

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

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

3.3.3 ไข่ในระยะ primary vitellogenesis ลักษณะของไข่ในระยะนี้ พบว่าส่วนของไซโตพลาสซึม จะย้อมติดสี acidophilic แต่บริเวณรอบๆ นิวเคลียสจะย้อมติดสี basophilic ในส่วนของโอโอพลาสซึมนั้น พบว่ามีหยดน้ำมันขนาดใหญ่ และที่บริเวณผิวของไข่จะมี microvilli ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งสั้นๆ ยื่นออกมา ไข่ในระยะนี้จะสามารถมองเห็นเซลล์ฟอลลิเคิลชัดเจน ที่บริเวณขอบของไข่จะมีไมโทครอนเดีย endoplasmic reticulum vesicular bodies และไรโบโซม ส่วนผิวด้านนอกของเซลล์ฟอลลิเคิลถูกหุ้มด้วย 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 มีเซลล์ฟอลลิเคิลอยู่น้อย และมีขนาดประมาณ 170-300 ไมครอน

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

3.4 พัฒนาการของไข่กุ้งก้ามกรามหลังการปฏิสนธิ

หลังจากที่กุ้งมีการลอกคราบแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง ไข่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนท้องเพื่อรับการผสมจากน้ำเชื้อจากกุ้งเพศผู้ และเกาะติดอยู่ที่ขาว่ายน้ำของแม่กุ้งโดยมีพัฒนาการของไข่ตามลักษณะที่ปรากฏดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 พัฒนาการของไข่กุ้งก้ามกรามที่ติดขาว่ายน้ำของแม่กุ้งหลังจากรับการปฏิสนธิแล้ว

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)

3.5 ระยะการพัฒนาของลูกกุ้งก้ามกราม

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

3.5.1 ระยะที่ 1 เมื่อลูกกุ้งฟักออกจากไข่แล้วจะมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 1 โดยที่มีขนาดใหญ่อายุชดกันทั้ง 2 ตา ก้านตายังไม่เจริญ กริมีลักษณะคล้ายหนามแหลมยื่นออกไปตรงระหว่างตาทั้ง 2 ข้าง หางมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมเป็นเยื่อใสบางๆ แนวสุดท้ายของหางเว้าเล็กน้อย แพนหางยังไม่เจริญ มีขนาดประมาณ 1.92 มิลลิเมตร

3.5.2 ระยะที่ 2 ลูกกุ้งมีตามีขนาดใหญ่แยกจากกัน ก้านตาเริ่มเจริญ กริมีลักษณะคล้ายหนามแหลม และยังคงมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม แพนหางแผ่นนอกเริ่มปรากฏเป็นแนวโค้งอยู่ทางด้านข้างของหาง มีขนาดประมาณ 1.99 มิลลิเมตร

3.5.3 ระยะที่ 3 มีตาและก้านตาที่เจริญขึ้นสามารถกรอกตาไปมาได้ กริมีความยาวมากขึ้น หางมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว แพนหางอันนอกแยกออกจากหางได้ชัดเจน และเริ่มปรากฏแพนหางอันใน แต่ยังคงซ่อนอยู่ในแผ่นหาง มีขนาดประมาณ 2.14 มิลลิเมตร

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

3.5.5 ระยะที่ 5 ลูกกุ้งในระยะนี้มีกริยาวเกือบถึงแนวหน้าสุดของตา โดยมีปลายเรียว หางมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า แพนหางอันนอกขยายออกมีความยาวกว่าหางเล็กน้อย แพนหางอันในเจริญขึ้น และมีความยาวเท่ากับหาง ได้ปล้องท้องเริ่มปรากฏเป็นฐานนูนซึ่งจะเจริญเป็นขาว่ายน้ำในระยะต่อไป มีขนาดประมาณ 2.84 มิลลิเมตร

3.5.6 ระยะที่ 6 ลูกกุ้งมีหาง และแพนหางค่อนข้างยาว ปลายหางแคบ และเรียวยาว ขาว่ายน้ำเริ่มมีการเจริญโดยมีลักษณะปรากฏ เป็นปุ่มขาว่ายน้ำ มีขนาดประมาณ 3.75 มิลลิเมตร

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

3.5.8 ระยะที่ 8 แพนหางอันใน และแพนหางอันนอกขยายตัวออก ส่วนปลายของขาว่ายน้ำเริ่มมีขนขึ้นที่แขนงอันนอก มีขนาดประมาณ 4.68 มิลลิเมตร

3.5.9 ระยะที่ 9 ส่วนปลายของขาว่ายน้ำมีขนขึ้น ที่แขนงอันนอก และที่แขนงอันใน โดยที่แขนงอันในเริ่มปรากฏมีดิ่งเล็กๆ มีขนาดประมาณ 6.07 มิลลิเมตร

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

3.5.11 ระยะที่ 11 มีลักษณะคล้ายคลึงกับระยะที่ 10 แต่บริเวณกรีด้านบนมีพื้นหลายซี่ มีขนาดประมาณ 7.73 มิลลิเมตร

3.5.12 ระยะที่ 12 ลูกกุ้งในระยะนี้มีการว่ายน้ำในท่าคว่ำ และว่ายน้ำไปข้างหน้า หรือเรียกว่า โปสตาว่า (postlarva) กรีดมีหนามทั้งด้านบน และด้านล่าง ลูกกุ้งในระยะนี้ จะมีลักษณะเหมือนพ่อแม่ทุกประการ

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

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

โดยมากจะเป็นไข่คูน ซึ่งใช้เป็นอาหารหลัก และให้อาร์ทีเมียเป็นอาหารเสริม วิธีนี้ต้องหมั่นคอยสังเกตดูอาการของลูกกุ้ง หากพบว่า ลูกกุ้งมีอาการผิดปกติจึงจะหยุดให้อาหารผสมเปลี่ยนมาให้ อาร์ทีเมียเพียงอย่างเดียว (ยนต์, 2529; ชลอ และพรเลิศ, 2547)

ตารางที่ 2 อัตราการรอด ของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลด้วยไรน้ำกร่อย และอาร์ทีเมีย

อาหารที่ใช้อนุบาล	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)
ไรน้ำกร่อย	24.27
อาร์ทีเมีย	71.99

ที่มา: ยงยุทธ และ อำไพพรรณ (2547)

2. ความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

จากรายงานของ Ling and Merican (1961) ซึ่งได้รายงานว่า แม่กุ้งก้ามกรามในธรรมชาติ จะมีความชุกชุมมากในบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นบริเวณน้ำกร่อย ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้เป็นบริเวณที่ยังคงได้รับอิทธิพลของน้ำจืดน้ำลง และเมื่อนำลูกกุ้งวัยอ่อนมาทำการศึกษการอนุบาลในตู้ทดลองพบว่า ตัวอ่อนของกุ้งก้ามกรามนั้น ภายหลังจากที่ฟักออกมาจากไข่แล้ว จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้เกิน 4 วันถ้าหากอนุบาลอยู่ในน้ำจืด ทั้งนี้เนื่องจากลูกกุ้งไม่สามารถที่จะลอกคราบ เพื่อให้มีพัฒนาการในระยะต่อไปได้ แต่ถ้าหากทำการอนุบาลตัวอ่อนในน้ำจืดที่ผสมด้วยน้ำเค็ม ในอัตราส่วน 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ก็จะทำให้ตัวอ่อนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และมีพัฒนาการในระยะต่อไป โดยสามารถลอกคราบได้ทุกๆ 2 วันในช่วง 10 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นความถี่ของการลอกคราบก็จะลดลง จากรายงานฉบับนี้ทำให้ทราบว่าความเค็มของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลตัวอ่อนกุ้งก้ามกรามนั้น มีความจำเป็นต่อการอยู่รอด และพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม และผลจากการศึกษาในครั้งนั้น ก็ทำให้การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามจนมีพัฒนาการถึงระยะคว่ำ หรือระยะโพสลาวา (post larva) ประสบผลสำเร็จในเวลาต่อมา

จากนั้นก็ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามอีกหลายๆ การศึกษาโดยที่ในประเทศไทยนั้น ไพโรจน์ และ ทรงชัย (2513) 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 จากการศึกษาพบว่า ลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลในน้ำเค็ม 12-14 ส่วนในพันมีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงกว่าระดับความเค็มในช่วงอื่นๆ

หลังจากนั้นมา ก็มีการศึกษาที่เกี่ยวกับความสำคัญ และแหล่งที่มาของน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามเพิ่มอีกหลายครั้ง จนกระทั่ง ชนดี (2529) ได้รวบรวมและทำการรายงานสรุปได้ว่า น้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น ควรใช้น้ำทะเลที่เจือจางจนมีความเค็มในช่วง 11-17 ส่วนในพัน ส่วนรายงานของ Jayacnandran (2001) ก็ได้รายงานไว้ว่า ความเค็มที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามควรจะอยู่ในช่วง 12-18 ส่วนในพัน ความเค็มนั้นไม่เพียงแต่จะจำเป็นต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม แต่ยังจำเป็นต่อการอนุบาลกุ้งใน Genus เดียวกัน ใน species อื่นๆ ด้วย เช่น ในการอนุบาลลูกกุ้ง *Macrobrachium acanthurus* นั้นหากอนุบาลในน้ำจืด ลูกกุ้งที่เพิ่งฟักออกมา และมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 1 จะตายทั้งหมด แต่จะมีอัตราการรอดตายสูงสุด ในช่วงความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลที่ 14-21 ส่วนในพัน ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (Ismael and Moreira, 1997) จากที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าระดับความเค็มที่ใช้ในการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น มีความแตกต่างกันบ้าง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

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

3. คุณภาพน้ำที่ใช้ในการอนุบาล

ในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามนั้นควรที่จะมีเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจคุณภาพของน้ำ เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการเพาะและอนุบาลกุ้งก้ามกรามนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าลูกกุ้งที่ทำการอนุบาลอยู่นั้นมีสุขภาพดีหรือไม่ และสามารถประเมินสถานการณ์ในการอนุบาลได้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการได้ คุณสมบัติของน้ำที่ควรให้ความสำคัญ ได้แก่

3.1 ออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เป็นคุณสมบัติของน้ำที่สำคัญเป็นอย่างมาก สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำทุกชนิดต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมในการใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น โดยทั่วไปแล้วไม่ควรมีความเข้มข้นต่ำกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งได้มีการรายงานไว้แตกต่างกันบ้างดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	เอกสารอ้างอิง
≤ 4.0	ชลอ และ พรเลิศ, 2547
≤ 5.0	มันสิน, 2538
5.0-7.0	Arrignon <i>et al.</i> , 1994
≤ 5.0	Jayachandran, 2001
≤ 4.5	Lee and Wickin, 1992

3.2 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)

ระดับที่เหมาะสมของ pH ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น มีความสำคัญต่อการสร้างเปลือกของกุ้งก้ามกรามอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากถ้าหาก pH ของน้ำสูงเกิน 8.5 กุ้งจะไม่ลอกคราบ นอกจากนี้หากระดับ pH ของน้ำสูงมากๆ ก็จะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียมากขึ้นด้วย จากการศึกษาจากเอกสารพบว่าระดับ pH ที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้นควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง 7.5-8.5 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

pH	เอกสารอ้างอิง
7.8-8.5	ชลอ และ พรเลิศ, 2547
6.5-8.5	มันสิน, 2538
7.0-8.5	ยงค์, 2529
7.0-8.5	Arrignon <i>et al.</i> , 1994
7.0-8.5	Jayachandran, 2001
6.5-8.5	Lee and Wickin, 1992
7.0-8.5	New, 1988
7.0-8.5	Sandifer and Smith, 1985

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

3.3 อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการอนุบาลลูกกุ้ง ทั้งนี้เนื่องจากกุ้งเป็นสัตว์ที่มีระดับ metabolism แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้นหากน้ำที่ใช้ในการอนุบาลมีอุณหภูมิต่ำเกินไป กุ้งก็จะไม่กินอาหารทำให้มีการเจริญเติบโต และการลอกคราบช้า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น มีการรายงานว่า มีช่วงอุณหภูมิต่ำสุด-อุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วง 26-30 , 26-31 ม 28-31 และ 29-31 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิที่กล่าวมานั้นโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 26-31 องศาเซลเซียส ซึ่งในแต่ละรายงานจะมีความแตกต่างกันบ้างดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

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

3.4 ปริมาณแอมโมเนีย และไนโตรที่ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามนั้น ลูกกุ้งจะขับถ่ายของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบแอมโมเนียอิสระนั้น เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำ หากมีปริมาณแอมโมเนียอิสระในน้ำมากเกินไป ก็จะทำให้ลูกกุ้งขับถ่ายของเสียในรูปแอมโมเนียได้ลดลง ทำให้มีระดับแอมโมเนียสะสมในเลือดสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่า pH ของเลือดสูงขึ้น ความต้องการออกซิเจนมากขึ้น และทำให้ความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจนของเลือดลดลง เมื่อแอมโมเนียที่ละลายอยู่ในน้ำถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไนโตรที่โดยกระบวนการ nitrification ซึ่งเกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย ซึ่งไนโตรที่ก็เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเช่นกัน และปริมาณของแอมโมเนีย และไนโตรที่ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนในน้ำที่ใช้อุบลากุ้งก้ามกราม

แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ผู้ทดลอง
<0.1 (แอมโมเนียอิสระ)	ไม่ระบุ	ยนต์, 2529
<0.5 (แอมโมเนียรวม)	<0.1	Correia <i>et al.</i> , 2000
<1.0 (แอมโมเนียอิสระ)	<0.25	Jayachandran, 2001
<0.1 (แอมโมเนียอิสระ)	<1.4 (NO ₂ -N)	Lee and Wickin, 1992
-	0.1	New, 1988

ความสำคัญของการเพาะเลี้ยงและการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ความเค็มของน้ำนั้นมีผลต่อการเพาะเลี้ยง และการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยเฉพาะ โดยมีผลต่อพัฒนาการของตัวอ่อน และพัฒนาการระยะต่างๆ ของลูกกุ้งซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลอกคราบ เนื่องจากในน้ำเค็มมีแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่ในรูปไอออนเช่น Na⁺ K⁺ Ca²⁺ Mg²⁺ และ Cl⁻ ไอออนเหล่านี้ เป็นธาตุองค์ประกอบปริมาณมาก (major constituents) ซึ่งจะมีปริมาณเป็นอัตราส่วนต่อความเค็มของน้ำคงที่เสมอ (พิชาญ, 2527; มนุวดี, 2532) ดังนั้นแร่ธาตุชนิดต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำย่อมมีผลโดยตรงต่อการเพาะเลี้ยง และการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม เช่น รายงานของ บุญรัตน์ และคณะ (2545) ได้ระบุว่า กุ้งสามารถได้รับแร่ธาตุต่างๆ ได้จากการกินแล้วดูดซึมแร่ธาตุจากทางเดินอาหาร และการได้รับแร่ธาตุจากน้ำโดยตรง โดยการแพร่ของแร่ธาตุผ่านเหงือก หรือรอยแยกของเปลือกกุ้ง ทั้งนี้ในการที่กุ้งจะสามารถดูดซึมแร่ธาตุได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุน้ำ 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) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) เซเลเนียม (Se) ฟลูออรีน (F) โมลิบดีนัม (Mo) ทิน (Sn) โครเมียม (Cr) สตรอนเทียม (Sr) วานาเดียม (Va) และซิลิกอน (Si)

เนื่องจากปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำ มีความจำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้ง ชลอ และคณะ (2547) จึงได้ทำการศึกษา เพื่อหาระดับความเหมาะสมของไอออนสำคัญ ที่มี

ต่ออัตราการรอด และการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ ที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ พบว่ามีค่าไอออนหลัก 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) มีปริมาณไอออนหลักในน้ำ สูงกว่าฟาร์มที่มีผลผลิตต่ำกว่า (ค่าเฉลี่ยของผลผลิต 560 กิโลกรัม/ไร่)

กุ้งก้ามกรามนั้นมีผู้ที่ได้รายงาน ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีระเคมีในเลือดของกุ้งในแต่ละขนาด และแต่ละระยะการลอกคราบไว้ดังเช่น การทดลองของ Cheng *et al.* (2001) ซึ่งได้รายงานว่ กุ้งก้ามกรามเพศผู้ที่มีขนาดใหญ่ (73.93 ± 2.73 กรัม) เพศผู้ที่มีขนาดเล็ก (26.04 ± 1.60 กรัม) และเพศเมีย (24.08 ± 0.66 กรัม) มีค่า ออสโมลาลิตี และระดับไอออน Cl^- Na^+ K^+ ในเลือด ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีระดับไอออน Ca^{2+} Mg^{2+} อ็อกซีฮีโมไซยานิน (Oxyhemocyanin) และมีอัตราส่วนของอ็อกซีฮีโมไซยานินต่อโปรตีน ในกุ้งเพศผู้ที่มีขนาดใหญ่ มีอัตราส่วนต่ำกว่าในเพศผู้ที่มีขนาดเล็ก และในเพศเมีย ($P<0.05$) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าอัตราส่วนของอ็อกซีฮีโมไซยานินต่อโปรตีน ที่มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกระยะลอกคราบ แต่จะมีค่าของอ็อกซีฮีโมไซยานิน และค่าโปรตีนในเลือด (hemolymph protein) ในระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (premolt ในระยะ D_1) มีค่าสูงสุด โดยมีค่ามากกว่าในระยะการลอกคราบอื่นทุกระยะ และจะลดลงในระยะก่อนลอกคราบตอนกลางต่อกับตอนปลาย (premolt ในระยะ D_2/D_3) ส่วนในระยะหลังลอกคราบใหม่ๆ (early post molt หรือ ระยะ A) และระยะหลังลอกคราบ (post molt หรือ ระยะ B) จะมีค่าเท่ากัน แต่ก็จะมีค่าน้อยกว่าในระยะ D_2/D_3 และจะเพิ่มขึ้นในระยะคราบแข็งต่อกับระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (intermolt ระยะ C/ระยะก่อนลอกคราบตอนต้น D_0) ซึ่งในระยะนี้ มีค่าเท่ากับ ระยะก่อนลอกคราบตอนกลางต่อกับตอนปลาย (ระยะ D_2/D_3) และมีออสโมลาลิตี คลอรีน โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม ในเลือดแตกต่างกันไป

จากรายงานผลการศึกษาของ จักรตุพร (2536) ที่ได้ทำการศึกษา ระดับของแมกนีเซียม และโพแทสเซียมไอออน ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำที่มีระดับของแมกนีเซียมไอออน 400 ส่วนในล้าน และระดับโพแทสเซียมไอออน 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 ช่วยให้การย่อยคาร์โบไฮเดรตเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และรวดเร็ว กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ATPase ควบคุมการเต้นของหัวใจ และการทำงานของระบบประสาทที่รอยต่อกับกล้ามเนื้อ (ชลอ และคณะ, 2547)

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

ตามที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ครัสตาเซียนเมื่อย้ายจากน้ำความเค็มสูงไปสู่น้ำความเค็มต่ำจะทำให้ค่า pH ของเลือดมีค่าสูงขึ้น (metabolic alkalosis) เนื่องจากเมื่อความเค็มน้ำต่ำลง ทำให้ค่า pH ของน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงแบบแปรผกผันตรงกัน โดยจะมีค่า pH ต่ำลง คือ มีสภาพเป็นกรดมากขึ้น (มี H^+ มากขึ้น) และคาดว่าจะมีผลทำให้เลือดกุ้ง มีสภาพเป็นกรดมากขึ้นด้วย ซึ่งสภาพที่เป็นกรดนี้จะมีผลต่อการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากเปลือกเก่าในรูปของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) จึงทำให้ปริมาณของแคลเซียมไอออน และไบคาร์บอเนตในเลือดสูงขึ้น (Machado *et al.*, 1988) และเมื่อเลือดปูมีไบคาร์บอเนตสูงขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า pH สูงขึ้น (Henry and Cameron, 1982)

ไม่เพียงแต่แคลเซียม และไบคาร์บอเนต สารอินทรีย์อื่นๆ ก็มีการละลายเข้าสู่กระแสเลือดด้วย ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) เพราะสัตว์จะต้องทำการปรับสภาพความสมดุลของเกลือแร่อย่างมาก ดังนั้น เมื่อความเค็มน้ำภายนอกมีระดับต่ำ หรือสูงจนเกินไปกว่าความสามารถของสัตว์จะปรับตัวให้เข้ากับความเค็มได้ที่เปลี่ยนแปลงนั้นได้ ก็จะเกิดความเครียดจากการปรับสมดุลออสโมติก

(osmotic stress) จึงส่งผลให้มีกิจกรรมการใช้พลังงาน และมีการขับถ่ายของเสียซึ่งอยู่ในรูปของแอมโมเนียมากขึ้น ซึ่งพบในครัสตาเซียนหลายชนิด (Mangum *et al.*, 1976 ; Regnault, 1984 ; Rosas *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการคีโอมิเนชัน (deamination) ซึ่งมีการขจัดเอาหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ออกจากสารประกอบของกรดอะมิโนอิสระภายในเซลล์ เพื่อนำไปใช้รักษาสมดุลปริมาณของเซลล์ ทำให้ระดับของแอมโมเนียในเลือดสูงขึ้น เช่นในปู *Callinectes sapidus* (Mangum *et al.*, 1976) รวมทั้งการลดลงของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในเลือด ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการที่ไฮโดรเจนไอออนเกิดพันธะกับแอมโมเนีย ซึ่งเกิดขึ้นในปฏิกิริยา catabolism ของกรดอะมิโนอิสระ ทำให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เลือดมีค่า pH สูงขึ้นด้วย (Weiland and Mangum, 1975)

ด้วยสาเหตุต่างๆ ดังกล่าวนี้อัตราความเค็มน้ำต่ำ ความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดน่าจะสูงกว่าน้ำความเค็มสูง แคลเซียมจะถูกดูดซึมกลับจากเปลือกเข้าสู่ระบบเลือด เพราะในน้ำความเค็มต่ำ จะมีแคลเซียมอยู่ในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับในน้ำความเค็มสูงกว่า ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Haefner (1964) ที่ได้รายงานถึง ความสัมพันธ์แบบแปรผกผันระหว่างน้ำหนักเปลือกปู *C. sapidus* ระยะหลังลอกคราบ (postmolt) กับความเค็มน้ำภายนอก โดยพบว่าปูที่อยู่ในน้ำความเค็ม 10 ส่วนในพัน จะมีน้ำหนักเปลือกน้อยกว่าปูที่อยู่ในน้ำความเค็ม 30 ส่วนในพัน และได้อธิบายว่า ความแตกต่างของน้ำหนักเปลือกปู มีสาเหตุจากการสะสมแคลเซียมที่มากขึ้นในเปลือกปูที่อยู่ในน้ำความเค็มสูง ซึ่งที่น้ำความเค็มสูง จะมีแคลเซียมสำหรับปูมาก ปูจึงมีการดึงไปเก็บสะสมไว้เพื่อในการสร้างเปลือกได้มาก ส่งผลทำให้ปูที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูงกว่ามีน้ำหนักเปลือกมากกว่าที่น้ำความเค็มต่ำ นอกจากนี้รายงานของ Travis and Friberg (1963) ก็ได้อธิบายไว้ว่า ปริมาณของแคลเซียมที่สะสมในเปลือกชั้นนอก (exocuticles) และเปลือกชั้นใน (endocuticles) ของ crayfish *Orconectes virilis* นั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนในน้ำภายนอก คือ ถ้าน้ำภายนอกมีความเค็มสูง ก็จะมีแคลเซียมไอออนปริมาณสูง และทำให้มีการสะสมแคลเซียมในเปลือกชั้นนอก และเปลือกชั้นในมากขึ้น และแม้ว่าแคลเซียมบางส่วนจะมีการสะสมไว้ในเลือด และต่อมในลำไส้ตอนกลาง (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 D₃) ก็จะดึงแคลเซียมเหล่านั้นออกมาใช้ สำหรับเป็นโครงสร้างของคิวติเคิลใหม่ที่จะสร้างเป็นเปลือกต่อไป ดังนั้นในการอธิบายถึงการแพร่กระจายของแคลเซียมในร่างกายสัตว์ จึงแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำภายนอกในร่างกาย 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 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันก็จะได้รับผลกระทบจากปริมาณการสะสมในเปลือกเป็นส่วนสำคัญ

นอกจากนี้ยังมีหลักฐานจากงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า เอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (carbonic anhydrase) จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นในอีพิดERMิส (epidermis) ของครัสตาเซียนที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำ หรืออยู่ในระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย และระยะหลังลอกคราบ (Henry and Kormanik, 1985) เพราะว่าเอนไซม์นี้ มีบทบาทสำคัญ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมและการใช้แคลเซียมเพื่อการสร้างเปลือก ดังจะเห็นได้จากการที่เลือดปูทะเลที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำจะมีปริมาณแคลเซียมในเลือดต่ำ ก็อาจจะมีสาเหตุจากการที่น้ำภายนอกมีความเค็มต่ำจะทำให้ระดับ pH ในเลือดสูงขึ้น และผลที่ตามมา คือ แร่ธาตุที่มีประจุลบ และบวกจะมีโอกาสจับตัวกันและเกิดการตกตะกอน (precipitation) ได้มากขึ้น ซึ่งเป็นการรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบ เพื่อทำการสร้างเปลือกใหม่ เนื่องจากเป็นช่วงที่ปูเข้าสู่ระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (pre-molt ในระยะ D₁) ปัจจัยดังกล่าวเป็น การเอื้ออำนวยต่อการสร้างเปลือกใหม่ เพราะการสร้างเปลือกของครัสตาเซียนโดยทั่วไปแล้ว จะเป็นไปได้ดีในสภาวะที่ของเหลวในร่างกาย โดยเฉพาะเลือดที่มีสภาวะเป็นด่าง

เล็กน้อย โดยมีการนำเอาโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และโคตินไปสะสม เพื่อใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ (sclerotization) ในขณะที่ยังคงเป็นชั้นของอีพิกิวทิเคิล (epicuticle) ในระยะก่อนลอกคราบตอนต้น (ระยะ D₁) และจะมีการนำสารอินทรีย์ดังกล่าว มาทำการสร้างเปลือกพร้อมกับกระบวนการสะสมแคลเซียมคาร์บอเนต (calcification) ต่อไปในระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย (ระยะ D₂-D₃) (Pratoomchat *et al.*, 2002a) จากสภาพดังกล่าวนี้ แคลเซียมอาจจะจับตัวกับโปรตีนหรือสารอื่นๆ ที่มีประจุลบที่มีอยู่ในเลือดดังเช่นที่พบ ในปู *Gecarcinus lateralis* มีแคลเซียมทั้งหมดในเลือด 22 มิลลิโมล/ลิตร แต่พบว่า เป็นแคลเซียมที่จับตัวอยู่กับโปรตีนถึง 13.4 มิลลิโมล/ลิตร (Skinner *et al.*, 1965 อ้างโดย Mantel and Farmer, 1983) รวมทั้งที่พบในครัสเตเชียชนิดอื่นๆ เช่น *Emerita asiatica*, crayfish *Atacus pallipes*, *Orconectes limusus* (Greenaway, 1972; Mantel and Farmer, 1983) และแคลเซียม ที่เกิดพันธะกับสารอินทรีย์ จะถูกดึงเข้าสู่คิวทิเคิล หรือเกิดการตกตะกอนชั่วคราว ส่งผลทำให้มีระดับแคลเซียมในเลือดที่น้ำความเค็มต่ำ มีปริมาณลดน้อยลงก็เป็นได้ และถ้าเหตุการณ์เป็นอย่างนี้จริง ที่ระดับความเค็มต่ำอาจจะช่วยกระตุ้นให้สัตว์มีการสร้างเปลือกใหม่ ได้ดีกว่า ส่งผลให้มีการลอกคราบเร็วกว่าที่ความเค็มน้ำสูง เหตุการณ์นี้พบได้ในปูทะเล *S. serrata* ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ (5 ส่วนในพัน) จะใช้เวลาในการลอกคราบสั้นกว่าปูทะเลที่เลี้ยงในน้ำความเค็มสูง (25 และ 32 ส่วนในพัน) (บุญรัตน์ และคณะ, 2546)

ในบางกรณีที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมที่อยู่ในเลือดของสัตว์ที่เลี้ยงในน้ำ ที่มีความเค็มสูง เกินกว่าระดับที่เหมาะสมของสัตว์ชนิดนั้น อาจจะมีค่าความเข้มข้นของแคลเซียมต่ำกว่าระดับความเค็มน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสัตว์ที่อาศัยในน้ำความเค็มสูง จะมีแคลเซียมจากน้ำภายนอกแพร่เข้าสู่ร่างกาย ในปริมาณมากตามความเค็มที่เพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างที่พบในปู *C. sapidus* และในกุ้งทะเล *Metapenaeus* sp. ที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูง แต่สัตว์ก็จำเป็นต้องพยายามปรับสมดุล แคลเซียมไม่ให้สูงเกินไปในระบบเลือด เพื่อไม่ให้ร่างกายไม่ได้รับอันตราย จึงพยายามขับแคลเซียมออกจากร่างกาย (Travis, 1953; Dall, 1965; Price Sheets and Dendinger, 1983)

2. แมกนีเซียม

แร่ธาตุแมกนีเซียม นั้น พบว่า เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของร่างกาย ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แต่ส่วนที่พบในเนื้อเยื่อ และเลือด (hemolymph) คิดเป็นอัตราส่วนเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ (ประจวบ, 2537) แมกนีเซียม นั้น เป็นองค์ประกอบใน โครงสร้างเปลือก (Cuticle) ของสัตว์ในกลุ่มกุ้ง และปู

โดยจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก และมีแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม และ โพแทสเซียม เป็นองค์ประกอบรองลงมา (Pratoomchat *et al.*, 2002a) นอกจากนี้แล้ว แมกนีเซียม ยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับ Osmoregulation อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากในตัวลูกกุ้งก้ามกรามนั้นมี แร่ธาตุ แมกนีเซียม ซึ่งอยู่ในรูปไอออนละลายอยู่ในเลือดอยู่แล้ว ในสภาวะ hypo-ionic นั้น คือ มีปริมาณ ไอออน Mg^{2+} ในเลือดน้อยกว่าน้ำภายนอกร่างกาย และถ้าหากปริมาณไอออน Mg^{2+} ในน้ำภายนอก ร่างกายสูงขึ้น กุ้งก็จะต้องขับไอออน Mg^{2+} ส่วนเกินออกไป ซึ่งในการกำจัดนี้สามารถทำได้ 2 วิธี โดยที่กุ้งจะขับไอออน Mg^{2+} ออกจากต่อมแอนเทนนา (antennal gland) ซึ่งมีหน้าที่ขับเกลือแร่ ส่วนเกินออกจากร่างกายภายใน 24-36 ชั่วโมง แต่ก็ยังมีไอออน Mg^{2+} ส่วนเกินหลงเหลืออยู่ประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะถูกขับออกมาพร้อมกับของเสียทางยูรีน (Holiday, 1980) ในการขับไอออน Mg^{2+} ออกมาด้วยยูรีนนั่น จะมีปริมาณมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอออน Mg^{2+} ในกระแสเลือด และ ปริมาณยูรีนที่กุ้งผลิตขึ้นเอง (Lockwood, 1967) หากร่างกายกุ้งไม่สามารถขับไอออน Mg^{2+} ส่วนเกิน ออกไปได้หมดไอออน Mg^{2+} ที่มีอยู่มากเกินไป ก็จะไปยับยั้งการถ่ายทอดสัญญาณประสาท (Robertson, 1960) โดยไปลดการปล่อยสารอะซิติลโคลีน (acetyl choline) ที่ปลายประสาท นอกจากนี้แล้วแมกนีเซียม ยังทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ให้ทำงานดีขึ้น โดยเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่จะเปลี่ยน ATP ให้เป็น ADP ซึ่งเกี่ยวกับการสังเคราะห์ โปรตีน และการเจริญเติบโต และยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการยึดตัว และหดตัวของกล้ามเนื้อพร้อมกับ แคลเซียมอีกด้วย (ประจวบ, 2537; ชลอ และคณะ, 2547)

3. โซเดียม คลอไรด์ และ โพแทสเซียม

แร่ธาตุโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม นั้น เป็นแร่ธาตุที่มีการปรับตัวตามระดับความ เกล็มของน้ำภายนอกร่างกายสัตว์ โดยที่ความเค็มจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุ โซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม เช่นในปลาสมานปูทะเล ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน ปริมาณ ของธาตุโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม จะมีความเข้มข้นต่ำที่สุด และจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อความเค็มน้ำสูงขึ้น ที่ระดับความเค็ม 25 ส่วนในพัน โดยที่ปริมาณของธาตุโซเดียมมีค่าสูงที่สุด ทุกระดับความเค็มน้ำเมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ ส่วนธาตุคลอไรด์ และโพแทสเซียม มีค่ารองลงมา ตามลำดับ ปริมาณของธาตุทั้ง 3 นี้ มีมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของแร่ธาตุทั้งหมดในเลือด ดังนั้นจึงจัด ได้ว่าเป็นธาตุที่ช่วยรักษาสมดุลออสโมติกในเลือด (osmoregulator) กล่าวคือ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง ระดับความเข้มข้นของธาตุโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ก็จะส่งผลให้ค่าออสโมลาลิตีของ เลือดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ผลการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ได้ส่งผลเฉพาะในปูทะเลเท่านั้น แต่ยังรวมถึง

ในคริสต์เศรษณชนคอื่น ๆ ด้วย เช่นในปู *E. sinensis* และ *C. maenas* (Gilles and Pequeux, 1986) เนื่องจากการร้ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้ มีความเข้มข้นสูงมาก และมีการเคลื่อนที่ย้ายระหว่างอวัยวะต่างๆ และระหว่างภายในกับภายนอกร่างกายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงนับว่ามีบทบาทต่อระบบสมดุลเกลือแร่ในเลือด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโซเดียม และคลอรีน ดังนั้นปริมาณของแร่ธาตุดังกล่าว จึงเพิ่มขึ้นตามความเค็มน้ำโดยมีความสัมพันธ์กับค่าออสโมลาลิตี เนื่องจากมีการแพร่เข้ามาผ่านทางเหงือก (influx) จากน้ำทะเลภายนอก

ความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ในเลือดสัตว์จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น และอยู่ในสภาวะ hyper-ionic ซึ่งพบได้ในคริสต์เศรษณหลายชนิด 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 อื่นๆ หลายชนิด (Castile and Lawrence, 1981) ส่วนกุ้งมังกร *Panulirus longipes* ก็มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียม และคลอไรด์ในเลือดตามความเค็มน้ำภายนอกเช่นกัน แต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจะแปรผกผันกับน้ำภายนอก (Dall, 1974) ซึ่งต่างไปจากกุ้งไมสิด (mysid) *Leptomysis mediterranea* ที่เมื่ออยู่ในน้ำความเค็มต่ำ จะมีความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ในเลือด จะเท่ากับน้ำภายนอก 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 ค่าออสโมติกและไอออนต่างๆ ระหว่างเลือดกับน้ำทะเล จะมีค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้น เมื่อปูมีการอพยพไปสู่ที่น้ำมีความเค็มต่ำ (Mantel, 1967; DeFur, 1990) โดยมีพฤติกรรมเช่นเดียวกันกับคริสต์เศรษณที่อาศัยอยู่ในเขตน้กร่อยและน้ำทะเล เมื่อระดับความเค็มน้ำเพิ่มขึ้น

ที่ระดับความเค็มของน้ำต่ำ เลือดสัตว์ก็จะมีปริมาณของโซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม ต่ำลงด้วย เนื่องจากมีน้ำภายนอกที่มีความเจือจางแพร่เข้าสู่ร่างกาย และแร่ธาตุต่างๆ ในร่างกายก็จะแพร่ออกสู่น้ำภายนอก เพื่อรักษาระดับเกลือแร่ในร่างกายให้อยู่ในระดับที่มีความสมดุล ดังนั้นสัตว์จึงต้องมีการปรับตัวให้อยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือแร่ในร่างกายสูงกว่าสิ่งแวดล้อมภายนอก จึงต้องมีการดึงพลังงานมาใช้อย่างมาก ในการรักษาระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆ

โดยมีกลไกการขับน้ำออกจากร่างกาย เพราะน้ำภายนอกที่แพร่เข้าไปในร่างกายอยู่ตลอดเวลาตามหลักการของออสโมซิส (osmosis) ในขณะที่เดียวกันก็จะมีการดูดกลับเกลือแร่ไว้ภายในร่างกาย และลดการสูญเสียเกลือแร่ออกจากร่างกาย โดยการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่านให้เล็กลง และเพิ่มการเก็บสะสมปัสสาวะ พร้อมทั้งปรับแรงดันน้ำ (hydrostatic pressure) ภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ (Mantel and Farmer, 1983)

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

แหล่งน้ำเค็มที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง

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

แต่ในบางภูมิภาคแล้วน้ำเค็ม จะเป็นสิ่งที่หายากมาก เนื่องจากมีราคาแพง เพราะต้องขนส่งเป็นระยะทางไกล อย่างเช่น ในภาคเหนือ หรือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นการใช้เกลือสินเธาว์ ซึ่งเป็นเกลือที่มีการผลิตในท้องถิ่นนั้นๆ สำหรับเตรียมเป็นน้ำเค็ม โดยมีการชดเชยแร่ธาตุบางชนิดเพื่อใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งดูเหมือนจะเป็นทางออกที่ดี แต่การใช้เกลือสินเธาว์ก็มีปัญหาเช่นกัน เพราะต้องนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุ และคำนวณหาปริมาณแร่ธาตุ ที่พร่องไปทุกครั้ง เกลือที่มาจากแหล่งผลิตที่ต่างกัน และเกลือที่มีวิธีการผลิตไม่เหมือนกัน ก็จะมีปริมาณแร่

ธาตุแตกต่างกันไป ส่วนเกลือแร่ที่ได้จากการทำนาเกลือ นั้น ก็มีปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญๆ บางชนิดพร่องไป เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และ แคลเซียม ทำให้เกิดปัญหาที่จะต้องวิเคราะห์และคำนวณเพื่อการชดเชยแร่ธาตุ ดังนั้นการใช้น้ำทะเลเทียม หรือน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับเตรียมน้ำทะเลเทียม ที่มีขายภายใต้ชื่อการค้าต่างๆ จึงเป็นแหล่งน้ำเค็มอีกแหล่งที่สามารถนำมาใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งได้ (Brown, 1991)

ความสำคัญของสาหร่ายสไปรูลินาในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) เป็น Cyanobacteria ที่นิยมใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพของคน เนื่องจากมีวิตามิน เกลือแร่ และ โปรตีนสูงถึง 70 % ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุที่มีคุณค่าสูงอีกหลายชนิดเช่น Phycocyanin, Allophycocyanin, Betacarotene, Chlorophyll-a และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่น Gamma-linolenic acid:GLA อยู่ร้อยละ 20-30 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่ง GLA นี้เป็นกรดไขมันตัวหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจทางการแพทย์และอุตสาหกรรมเนื่องจากมีคุณสมบัติยับยั้งการแข็งตัวของเลือด ลดระดับความดันโลหิต ลดปริมาณคอเลสเตอรอล ควบคุมปริมาณ Prostaglandin ซึ่งช่วยรักษาเกี่ยวกับโรคหัวใจ และโรคภูมิแพ้ อีกทั้งรงควัตถุ Phycocyanin, Allophycocyanin สามารถนำมาใช้ในงานด้าน Immunoassays microscopy เนื่องจากมีคุณสมบัติเรืองแสง (Nakamura, 1982 ; Venkataraman, 1983)

นอกจากนั้นยังมีการใช้สาหร่ายสไปรูลินาสด (*Spirulina platensis*) ในการอนุบาลและเลี้ยงปลาชนิดแดงจนถึงระยะวางไข่อีกด้วย โดยพบว่าปลานิลมีอัตราการผสมพันธุ์ อัตราการฟัก ออกเป็นตัว และอัตราการรอดของลูกปลาสูงกว่าการให้อาหารทั่วไป อีกทั้งการใช้สาหร่ายสไปรูลินาสด (*Spirulina platensis*) ยังเป็นการทำให้เนื้อปลามีกรดไขมันจำพวก Linolenic acid, Gamma-linolenic acid สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั่วไป (Lu and Tekeuchi, 2003) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำสาหร่ายสไปรูลินาสด มาเป็นอาหารเสริมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม
 - 1.1 บ่อตอนกรีดกลมนขนาดความจุ 250 ลิตร
 - 1.2 ชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำ โดยใช้วัสดุกรอง Bioball
 - 1.3 ป้อนน้ำ ขนาดเล็กที่สามารถสูบน้ำได้ 600 ลิตร/ชั่วโมง
 - 1.4 กระชังผ้าที่มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน

สัตว์ทดลอง

แม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นแม่พันธุ์กุ้ง ที่ซื้อมาจากตลาดลำเลียง กุ้งก้ามกรามที่ซื้อหารวบรวมมาจากฟาร์มเอกชน ในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยการคัดเลือกเฉพาะ แม่พันธุ์ที่มีไข่สีส้มติดหน้าท้อง (Unripe berried female) มีอวัยวะครบถ้วน และไม่มีร่องรอย การเป็นโรค

วิธีการ

1. วิธีการเตรียมน้ำเค็ม

การเตรียมน้ำเค็ม เพื่อใช้สำหรับการทดลองในครั้งนี้ ใช้น้ำเค็มที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ประกอบด้วย น้ำทะเลเทียม ซึ่งเตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูปในชื่อการค้า “Marinium” (ผลิตโดย Mariscience International) ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน

2. การเตรียมน้ำทดลอง

2.1 บ่อทดลอง

บ่อทดลองที่ใช้เป็นบ่อตอนกรีดกลม สำหรับอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม มีความจุประมาณ 250 ลิตร

2.2 การกระตุ้นไบโอบอล

การกระตุ้นไบโอบอลเพื่อเตรียมสภาพของไบโอบอลให้มีแบคทีเรียใน กลุ่มแบคทีเรีย ไนตริฟายเออร์ (Nitrifier bacteria) มาเกาะอยู่ โดยที่แบคทีเรียกลุ่มนี้มีหน้าที่ในปฏิกิริยา ไนตริฟิเคชัน (nitrification reaction) ในการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์ ให้กลายเป็นไนเตรท โดยนำไบโอบอล ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง มาบรรจุลงในถุงผ้าที่มีสายให้อากาศบรรจุอยู่ด้วย แช่ในน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือสังเคราะห์สำหรับทำน้ำทะเลเทียม ที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันในบ่อคอนกรีตทรงกลม ทำการเลี้ยงปลานิลในบ่อ และให้อากาศตลอดเวลาเป็นเวลา 60 วัน (ภาพที่ 4) ระบบกรองในตู้ทดลองนั้นใช้วิธี Trickle filter unit โดยมีใยแก้ว ฟองน้ำ สังเคราะห์ และไบโอบอล (Bioball) เป็นวัสดุกรองเรียงตามลำดับจากด้านบนลงมาด้านล่าง โดยมีการไหลเวียนของน้ำเป็นวงจรปิด



ภาพที่ 4 การกระตุ้นไบโอบอลเพื่อให้มีแบคทีเรียไนตริฟายเออร์มาเกาะ

3. วิธีการอนุบาล และตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

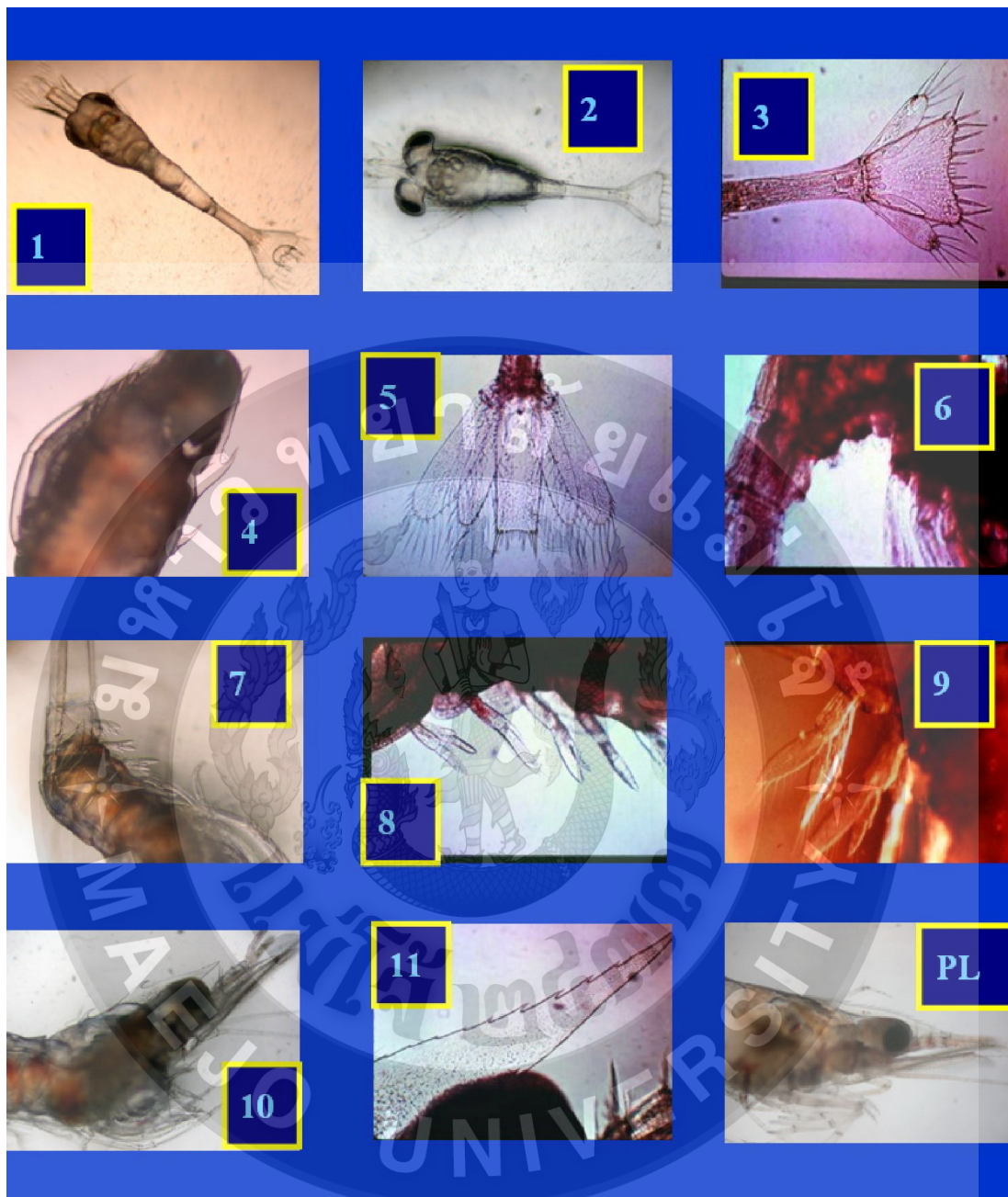
3.1 วิธีการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

นำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะหัวใจเด่น มาทำการวางไข่ในน้ำเค็มที่เตรียมจากผงเกลือสำเร็จรูป สำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยใช้ตาข่ายพรางแสง 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดความเครียด เมื่อไข่ฟักออกเป็นตัวทั้งหมดแล้ว จึงทำการสูบน้ำความหนาแน่นของตัวอ่อนทั้งหมด จากนั้นจึงแบ่งตัวอ่อนลงในกระชังผ้าที่มีขนาด $15 \times 15 \times 15$ เซนติเมตร มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน ที่ลอยอยู่ในบ่อทดลอง (ภาพที่ 7-8) ในอัตราความหนาแน่นของลูกกุ้งก้ามกราม 80 ตัว/ลิตร โดยที่กระชังขนาด $15 \times 15 \times 15$ เซนติเมตรนี้ ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในช่วงวันที่ 1-10 ของการอนุบาล และหลังจาก วันที่ 10 ของการอนุบาลไปแล้ว จะเปลี่ยนไปใช้กระชังที่มีขนาด $20 \times 20 \times 20$ เซนติเมตรแทน

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

3.2 การตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

ทำการตรวจดูระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามทุกวัน โดยใช้ลักษณะที่ปรากฏของลูกกุ้งที่เห็นได้ จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นเกณฑ์ และแบ่งระยะพัฒนาการตามวิธีของยนต์ (2529) ซึ่งได้แบ่งระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม ออกเป็น 12 ระยะ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 พัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกรามทั้ง 12 ระยะ

วิธีการทดลอง

ผลของการเสริมไข่ตุ๋นและสาหร่ายสไปรูลีนา ที่มีต่ออัตราการรอด และพัฒนาการของลูกกุ้งในการอนุบาลในระบบปิด

การวางแผนการทดลองการทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือ CRD (Complete Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร(ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร และให้ไข่ตุ๋นเป็นอาหารเสริม

ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร และให้ไข่ตุ๋นที่เสริมด้วยสาหร่ายสไปรูลีนาเป็นอาหารเสริม

วิธีการทดลอง

นำแม่กุ้งที่มีไข่ในระยะ heart beating (พัฒนาการของไข่ดังภาพที่ 6) มาทำการฟักไข่ในน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน เมื่อลูกกุ้งฟักออกจากไข่แล้วจึงทำการอนุบาลลูกกุ้งในตู้ทดลองที่มีน้ำทะเลเทียมที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพัน ในกระชังผ้าที่มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน (ภาพที่ 7) ในบ่อคอนกรีตที่มีระบบน้ำเค็มไหลเวียนแบบปิดและติดตั้งระบบบำบัดน้ำไว้แล้ว (ภาพที่ 8) ทำการให้อาหารวันละ 4 ครั้ง เวลา 6.00 น. 10.00 น. 14.00 น. และ เวลา 18.00 น. โดยที่ในชุดการทดลองที่ 2 จะมีการให้ไข่ตุ๋น และชุดการทดลองที่ 3 จะมีการให้ไข่ตุ๋นเสริมด้วยสาหร่ายสไปรูลีนา ในมือเวลา 10.00 น. และ 18.00 น. ในเมื่อ 2 และมือสุดท้าย เมื่อเวลาผ่านไป 15 วันหรือเมื่อลูกกุ้งมีพัฒนาการอยู่ในระยะที่ 6-7 จึงทำการชดเชยแร่ธาตุทั้งแมกนีเซียมและโพแทสเซียม ลงในน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง ในระหว่างการทดลองมีการตรวจระยะพัฒนาการของลูกกุ้งทุกวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วจึงทำการนับจำนวนลูกกุ้งทั้งหมด เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการรอดตายเฉลี่ย และวิเคราะห์หาความแปรปรวน(ANOVA) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 6 แม่กุ้งก้ามกรามที่มีไข่ ระยะต่างๆ



ภาพที่ 7 กระชังผ้าที่มีความละเอียดของตาข่าย 80 ไมครอน สำหรับใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง
ก้ามกรามวัยอ่อนในตู้ที่มีระบบน้ำเค็มไหลเวียนแบบปิด



ภาพที่ 8 บ่อซีเมนต์กลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร พร้อมทั้งติดตั้งระบบบำบัดน้ำ

ผลการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการนำลูกกุ้งก้ามกราม มาทำการอนุบาลในน้ำเค็มระบบปิดโดยมีการเสริมแร่ธาตุในระหว่างการทดลอง โดยที่

ชุดการทดลองที่ 1 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร(ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร และให้ไข่ตุ๋นเป็นอาหารเสริม

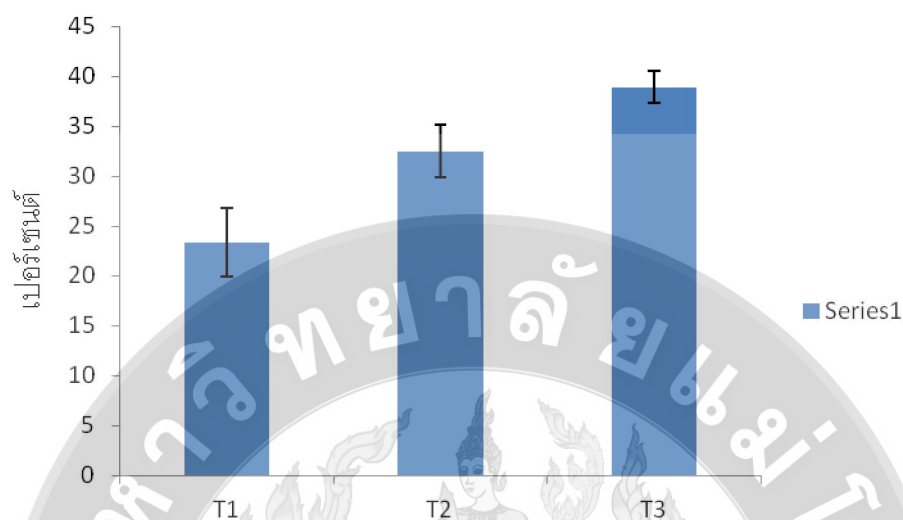
ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเทียมที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน โดยให้ตัวอ่อนของอาร์ทีเมียเป็นอาหาร และให้ไข่ตุ๋นที่เสริมด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นอาหารเสริม เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าลูกกุ้งในชุดการทดลองที่ 3 มีอัตราการรอดตายสูงที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2 ส่วนชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราการรอดตายต่ำที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)จ โดยมีอัตราการรอดตายดังตารางที่ 8 และภาพที่ 9 มีระยะพัฒนาการของลูกกุ้งดังภาพที่ 10 และมีคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามที่ทำการอนุบาลด้วยน้ำเค็มที่มีการเสริมแร่ธาตุ

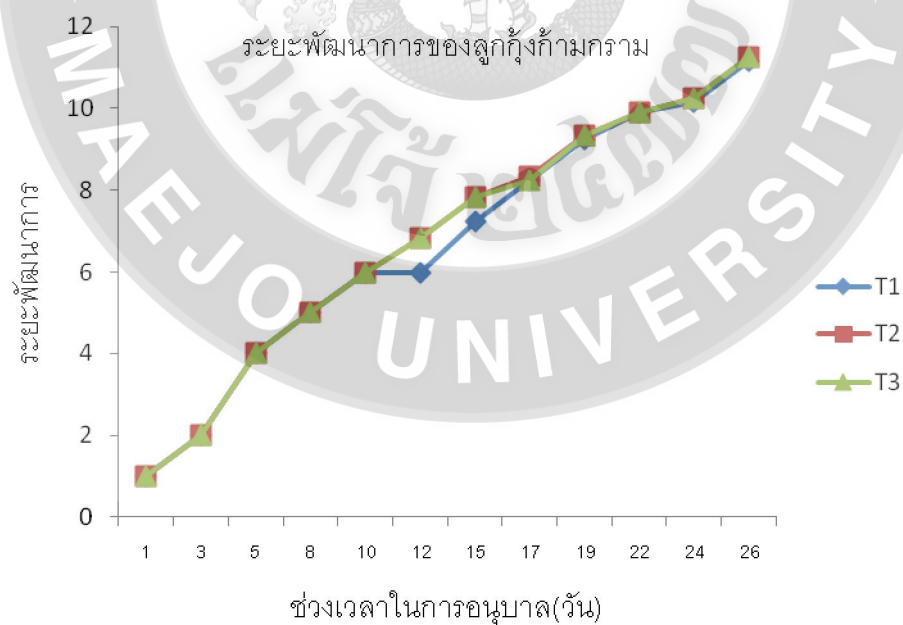
การเสริมแร่ธาตุ	อัตราการรอด (ร้อยละ)
ชุดการทดลองที่ 1 ให้อาร์ทีเมีย	23.36 ± 3.47^a
ชุดการทดลองที่ 2 ให้อาร์ทีเมีย+ไข่ตุ๋น	32.50 ± 2.66^b
ชุดการทดลองที่ 3 ให้อาร์ทีเมีย+ไข่ตุ๋น+สไปรูลิน่า	38.90 ± 1.60^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของอัตราการรอดตาย ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกัน($P<0.05$)

อัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามในช่วงการอนุบาล 26 วัน



ภาพที่ 9 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 10 ระยะพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม

ตารางที่ 9 คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ชุดการ ทดลองที่	Salinity (ppt)	DO (mg/l)	pH	อุณหภูมิ (°C)	แอมโมเนีย รวม (mg/l)	ไนโตรที่ (mg/l)
1	15.0-15.4	5.07-5.12	8.4	28.0-30.0	0	0
2	15.0-15.4	5.04-5.13	8.4	28.0-30.0	0	0
3	15.0-15.4	5.06-5.15	8.4	28.0-30.0	0	0

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำตลอดการทดลอง พบว่าทั้งความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลาย
น้ำ pH อุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนโตรที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยง
สัตว์น้ำ



วิจารณ์ผลการวิจัย

น้ำทะเลเทียมที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำทะเลเทียมที่ผลิตออกมาภายใต้ชื่อการค้า “Marinium” ซึ่งในท้องตลาดนั้นมีเกลือผงสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียมที่ผลิตภายในประเทศ ภายใต้ชื่อการค้าอื่นๆ อีกหลายชื่อ เช่น “Deep Blue Sea”, “Thai Coral”, “Aqua Raise” และ “Aqua Marine” แต่มีเพียง “Marinium” และ “Deep Blue Sea” เท่านั้นที่ระบุปริมาณแร่ธาตุของน้ำทะเลเทียมที่เตรียมได้ไว้ข้างซอง จึงเลือกเอาเพียง 1 ชื่อการค้าคือ “Marinium” ซึ่งเมื่อนำมาละลายด้วยน้ำประปาแล้วพบว่ามีองค์ประกอบใกล้เคียงกันกับในน้ำทะเลธรรมชาติที่ความเค็มเดียวกันมาก อีกทั้งยังเป็นการใช้สินค้าที่ผลิตภายในประเทศ ดังนั้นน้ำทะเลเทียมจึงน่าจะเป็นแหล่งน้ำที่เหมาะสมในการทดลองนี้ อีกทั้งต้นทุนค่าขนส่งน้ำเกลือจากนอกเกลือที่มีราคาสูงมาก ถึง 15,000 (ราคาในปี พ.ศ.2547) และ 20,000 บาทในปัจจุบัน ซึ่งราคานี้เป็นราคาต่อการขนส่งน้ำเค็มจากนอกเกลือ 1 คันรถที่สามารถบรรทุกน้ำได้ 15 ลูกบาศก์เมตร/รถ อีกทั้งค่าสลิทหรือในการขนส่งในระยะทางไกลจะมีราคาสูงมาก จากปัจจัยที่กล่าวมานั้นทำให้น้ำทะเลเทียมเป็นแหล่งน้ำเค็มที่เหมาะสมในการทดลองนี้

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

จากผลการทดลองที่ได้ทำการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มระบบปิดในการทดลองพบว่าอัตราการรอดตายร้อยละ 23.36, 32.50 และ 38.90 ซึ่งเป็นอัตราการรอดตายที่ใกล้เคียงกับรายงานของ กระสินธุ์ (2552) ที่ได้รายงานการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มระบบปิดไว้ว่ามีอัตราการรอดตายร้อยละ 35 โดยประมาณ ซึ่งหากเทียบกับผลการอนุบาลลูกกุ้งของ กระสินธุ์ (2549) พบว่าการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำเค็มระบบปิดในครั้งนั้นไว้ว่ามีอัตราการรอดตายร้อยละ 30 โดยประมาณ ซึ่งเป็นอัตราการรอดตายที่ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้มาก แต่เมื่อเทียบกับการอนุบาลในระบบเปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำซึ่งพบว่าอัตราการรอดตายร้อยละ 40-50 ซึ่งสูงกว่าการอนุบาลในระบบปิดเล็กน้อย แต่สามารถประหยัดการใช้น้ำเค็มในการอนุบาลได้ถึง 6 เท่า

ผลการทดลองนี้พบว่าการเสริมสาหร่ายสไปรูลินาในไข่ตุนจะทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดตายสูงขึ้นทั้งนี้ น่าจะเกิดจากการที่ไข่ตุน และสาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงถึง 70% อีกทั้งยังมีวิตามิน เกลือแร่ และมีรงควัตถุที่มีคุณค่าสูงอีกหลายชนิดเช่น Phycocyanin, Allophycocyanin, Betacarotene, Chlorophyll-a ซึ่งรงควัตถุ Phycocyanin, Allophycocyanin สามารถนำมาใช้ในงานด้าน Immunoassays microscopy อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันอิ่มตัวเช่น Gamma-linolenic acid:GLA อยู่ร้อยละ 20-30 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่ง GLA นี้เป็นกรดไขมันตัวหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจทางการแพทย์และอุตสาหกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติยับยั้งการแข็งตัวของเลือด ลดระดับความดันโลหิต ลดปริมาณคอเลสเตอรอล ควบคุมปริมาณ Prostaglandin ซึ่งช่วยรักษาเกี่ยวกับโรคหัวใจ และโรคภูมิแพ้(Nakamura, 1982 ; Venkataraman, 1983)

นอกจากนี้ยังมีการใช้สาหร่ายสไปรูลินาสด (*Spirulina platensis*) ในการอนุบาลและเลี้ยงปลาชนิดแดงจนถึงระยะวางไข่อีกด้วย โดยพบว่าปลานิลมีอัตราการผสมพันธุ์ อัตราการฟัก ออกเป็นตัว และอัตราการรอดของลูกปลาสูงกว่าการใช้อาหารทั่วไป อีกทั้งการใช้สาหร่ายสไปรูลินาสด (*Spirulina platensis*) ยังเป็นการทำให้เนื้อปลามีกรดไขมันจำพวก Linolenic acid, Gamma-linolenic acid สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั่วไป (Lu and Tekeuchi, 2003) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำสาหร่ายสไปรูลินาสด มาเป็นอาหารเสริมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

ดังนั้นการเสริมสาหร่ายสไปรูลินาจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มระดับโปรตีนให้อาหารที่ใช้ออนุบาล และยังเป็นการช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับลูกกุ้งอีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

1. ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินาเสริมกับไข่ตุนเพื่อเป็นอาหาร สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม จะทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดตายสูงขึ้น
2. ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยใช้น้ำเค็มในระบบไหลเวียนแบบปิดนั้นน้ำเค็มที่เตรียมมาจากผงเกลือสำเร็จรูปสำหรับทำน้ำทะเลเทียมสามารถใช้แทน น้ำทะเลเข้มข้นจากนาเกลือที่นำมาเจือจางเพื่อใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามได้ โดยมีอัตราการรอดตายของลูกกุ้งร้อยละ 23.36-33.95

เอกสารอ้างอิง

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์. 2549. การใช้น้ำทะเลเทียมในระบบหมุนเวียนแบบปิดเพื่อผลิตกุ้งก้ามกราม.

ว.แม่โจ้ปริทัศน์.7(5) : 15-17

กระสินธุ์ หังสพฤกษ์. 2549. ความสำคัญของแร่ธาตุหลัก 5 ชนิด(Na, K, Ca, Mg และ Cl) สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม(*Macrobrachium rosenbergii* de Man)วิทยานิพนธ์

ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 61 หน้า.

จักรตุพร วิสุทธิพันธ์. 2536 ผลของแมกนีเซียมอ็อกไซด์และโพแทสเซียมอ็อกไซด์ในระดับต่างๆ ต่ออัตราการรอดของ ลูกกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) ในน้ำเกลือ

สินแร่. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 191 หน้า.

เจษฎา อิศหา. 2536. ผลของระดับโปรตีนต่ออัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่เลี้ยงในน้ำเกลือสินแร่ที่ระดับความเค็มต่างกัน.วิทยานิพนธ์

ปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 145 หน้า.

ชลอ ลีมสุวรรณ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. 2547. อุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 206 หน้า.

ชลอ ลีมสุวรรณ วรหัท เทพาคูดี นิติ ชูเจ็ด พรเลิศ จันทรรักษ์กุล และ นิธิศ ภัทรกุลชัย. 2547. การศึกษาหาระดับความเหมาะสมของอาหารที่มีต่ออัตราการรอดและการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ. สัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่องการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาอุตสาหกรรมเลี้ยงกุ้งของประเทศไทย. กองโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. หน้า 268-279.

บุญรัตน์ ประทุมชาติ. (2545). เอกสารประกอบการสอนวิชาการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง. ภาควิชาวาริชศาสตร์,คณะวิทยาศาสตร์.มหาวิทยาลัยบูรพา. 524 หน้า.

ประจวบ หล้าอุบล. 2537. กุ้ง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 237 หน้า.

มนูวดี หังสพฤกษ์. 2532. สมุทรศาสตร์เคมี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 329 หน้า.

- 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.
- FAO, 2000. **FAO year book Fisheries statistic. Aquaculture production**. 90(2) : 78 pp.
- Gelin, A., Crivelli, A.J., Rosecchi, E. and Karambrun P. 2001. Can salinity change affect reproductive success in the brown shrimp *Crangon crangon*. **J. Crust. Biol.** 21(4) : 905 – 911.
- Gilles, R. and Pequeux, A. 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. Physiol.** 26, 937-946.
- Gonzalez, R.J., Drazen, J., Hathaway, S., Bauer, B. and Simovich M. 1996. Physiological correlates of water chemistry requirements in fairy shrimps (Anostraca) from Southern California. **J. Crust. Biol.** 16(2) : 315 – 322.
- Henry, R.P. and Cameron, J.N. 1982. Acid-base in *Callinectes sapidus* during acclimation from high to low salinity. **J. Exp. Biol.** 101 : 255 – 264.
- Kirkpatrick, K. and Jones, M.B. 1985. Salinity tolerance and osmoregulation of a prawn, *Palaemon affinis* Milne Edwards (Caridea : Palaemonidae). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 93 : 61 – 70.
- Machado, J. Coimbra, J. Sá. C. and Cardoso, I. 1988. Shell thickening in *Anodonta cygnea* by induced acidosis. **Comp. Biochem. Physiol.** 91A (4): 645-651.
- Mantel, L.H. and Farmer, L.L. 1983 . Osmotic and ionic regulation. **In: The Biology of Crustacea vol 4**. Internal anatomy and physiological regulation, Mantel, L.H. (ed), Academic press, New York, pp. 53-161.
- 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.
- Nakamura, H. 1982. Food for a Hungry World, a Pioneer's Story in Aquaculture. California: University of the Free Press.

- Passano, L.M. 1960. Molting and its control. *In: The physiology of crustacea, Vol. 1.* Waterman, T.H. (Ed.), Academic Press, New York, pp 473-536.
- 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.** 151 pp.
- Pratoomchat, B., Sawangwong, P. Pakkong, P. and Machado, J. 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., Sawangwong, P. Guedes, R., Reis, M.D.L. and Machado, J. 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 Dendinger, J.E. 1983. Calcium deposition into the cuticle of the blue crab, *Callinectes sapidus*, related to external salinity. **Comp. Biochem. Physiol.** 74A : 903 – 907.
- 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.
- Venkataraman L.V.1983. A monograph on *Spirulina platensis*.Central Foof Technological Research Institute, Mysore