

การเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด  
อัตราการแลกเนื้อ ความถี่ของการลอกคราบ และความแปรปรวนของขนาดกุ้งขาว  
(*Litopenaeus vannamei*)

Proportional Supplementation of Minerals in Cultured Medium on Growth, Survival, Food conversion ratio, Molt frequency and Size Variation of White shrimp (*Litopenaeus vannamei*).

ณัฐพล แก้วละเอียด และ บุญรัตน์ ประทุมชาติ  
Nattapol Kaewla-iad and Boonyarath Pratoomchat

บทคัดย่อ

การทดลองผลของการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความถี่ของการลอกคราบ และความแปรปรวนของขนาดกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) จึงได้วางแผนการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง (1) การเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 5 ppt ให้มีอัตราส่วน Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na เทียบเท่ากับที่พบในน้ำความเค็ม 25 (ชุดการทดลองที่ 1) และ (2) การเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 25 ppt ให้มีอัตราส่วน Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na เทียบเท่ากับที่พบในน้ำความเค็ม 35 ppt (ชุดการทดลองที่ 2) ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแร่ธาตุด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescent Spectrophotometer โดยชุดควบคุมทั้ง 2 ความเค็ม ไม่มีการเสริมแร่ธาตุ การทดลองนี้ใช้กุ้งขาวความยาวเฉลี่ย  $8.9 \pm 0.17$  cm และน้ำหนักตัวเฉลี่ย  $8.4 \pm 0.19$  g ลงเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 250 L ความหนาแน่น 70 ตัว/ตารางเมตร เลี้ยงนาน 3 เดือน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อชุดการทดลอง จากการทดลองพบว่า %น้ำหนักและความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของน้ำหนักและความยาว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ความถี่ของการลอกคราบ และอัตราการรอดของกุ้งชุดการทดลองสูงกว่าชุดควบคุม ( $p < 0.05$ ) ยกเว้นอัตราการรอดที่ 25 ppt ขณะที่อัตราการแลกเนื้อของชุดการทดลองทั้ง 2 ชุดต่ำกว่าชุดควบคุม ( $p < 0.05$ ) ทั้งความเค็ม 5 และ 25 ppt ส่วน %ความแปรปรวนของความยาวในชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดทดลองที่ 25 ppt ให้ผลตรงกันข้ามที่ความเค็ม 5 ppt ( $p < 0.05$ ) %ความแปรปรวนของน้ำหนักไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริมแร่ธาตุในอัตราส่วนที่เหมาะสมมีความจำเป็นมากต่อการเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็มต่ำ

Abstract

The effect of proportional supplementation of minerals in cultured medium for *Litopenaeus vannamei* culture on growth, survival, food conversion ratio, molt frequency and size variation were studied. This experimental was divided into 2 treatments: (1) minerals supplementation in 5 ppt cultured medium at ratios of Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K and Cl:Na that equivalent to occurrence at 25 ppt (treatment 1); (2) minerals supplementation in 25 ppt cultured medium at ratios of Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K and Cl:Na that equivalent to occurrence at 35 ppt (treatment 2). Mineral concentrations were analyzed by X-Ray Fluorescent Spectrophotometer. No supplementation in 2 salinities was control. An average size of *L. vannamei* juvenile used for the study was  $8.9 \pm 0.17$  cm in total length and  $8.4 \pm 0.19$  g in body weight. Shrimps were cultured in 250 L fiber glass tanks at density of 70 ind/m<sup>2</sup> for 3 months without water exchange. Three replications were performed. The results found that %weight and %length gains, specific growth rate of weight and length, average daily growth, molt frequency and survival rate of treatment shrimps were significantly higher ( $p < 0.05$ ) than those of control, except for survival rate at 25 ppt while FCR of treatment was significantly lower than that of control at 5 and 25 ppt ( $p < 0.05$ ). Percent size variation in length of control was significantly ( $p < 0.05$ ) higher than that of treatment at 25 ppt and vice versa at 5 ppt. Percent size variation in weight was not significantly different ( $p > 0.05$ ). This study indicated that proportional supplementation of minerals is very necessary for *L. vannamei* culture at low salinity.

Keywords: white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, mineral  
[boonyara@buu.ac.th](mailto:boonyara@buu.ac.th)

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University

## คำนำ

กุ้งขาว (*L. vannamei*) เป็นสัตว์น้ำที่มีคุณค่าและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากในปัจจุบัน นำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นมูลค่าสูงอย่างต่อเนื่อง แนวโน้มอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งจึงยังคงมีความสำคัญ และเป็นธุรกิจการเกษตรขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจัยหลักมาจากอาหาร และการเลี้ยงกุ้งที่หนาแน่นมากนั้นต้องใช้แร่ธาตุในน้ำสูงจึงส่งผลต่อการสร้างเปลือก และทำให้เกิดปัญหากุ้งตายคาคราบ เปลือกนิ่ม ตลอดจนการเจริญเติบโตที่ช้า อัตราการแลกเนื้อสูงขึ้น ซึ่งมีผลมาจากการไม่สมดุลของแร่ธาตุในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็มต่ำ (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ 2547) ดังการวิจัยในอดีตที่พบว่าอัตราส่วนของ Na:K ที่ความเค็ม 4 ppt มี 28-30:1 จึงจะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของกุ้งขาว (*L. vannamei*) แต่หากมี Na:K เท่ากับ 119:1 ทำให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอดต่ำลง (Roy *et al.*, 2007) ขณะที่การเลี้ยงความเค็ม 30 ppt ควรมี Na:K เท่ากับ 40-43:1 จึงเหมาะสมและหากมีอัตราส่วนมากกว่านี้ทำให้การเจริญเติบโตลดลง (Zhu *et al.*, 2004) งานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาอัตราส่วนของแร่ธาตุที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในน้ำความเค็มต่ำและความเค็มปกติ เพื่อทำให้มีผลผลิตสูงขึ้น ลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งลดระยะเวลาการเลี้ยงลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมกุ้งขาวและการวางแผนการวิจัย

รวบรวมกุ้งขาว (*L. vannamei*) จากบ่อเลี้ยงระบบพัฒนาที่มีความแข็งแรงสมบูรณ์ อายุ 2 เดือน ขนาดความยาวเฉลี่ย (total length)  $8.9 \pm 0.17$  cm และน้ำหนักเฉลี่ย  $8.4 \pm 0.19$  g นำมาเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 250 L ที่ความเค็ม 5 และ 25 ppt ถึงละ 20 ตัว (ความหนาแน่น 70 ตัว/ตารางเมตร) คลุมถังด้วยพลาสติกและใช้ระบบน้ำเลี้ยงกุ้งแบบปิด (closed system) ตลอดเวลา 3 เดือน ได้วางแผนการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง (1) การเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 5 ppt ให้มีอัตราส่วน Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na เทียบเท่ากับที่พบในน้ำความเค็ม 25 (ชุดทดลองที่ 1) และ (2) การเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 25 ppt ให้มีอัตราส่วน Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na เทียบเท่ากับที่พบในน้ำความเค็ม 35 ppt (ชุดทดลองที่ 2) (Table 2) โดยชุดควบคุมทั้ง 2 ความเค็ม ไม่มีการเสริมแร่ธาตุ ทำการทดลอง 3 ชุดต่อชุดการทดลอง

### 2. การเติมแร่ธาตุ การให้อาหาร และการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแร่ธาตุ

การเติมแร่ธาตุประกอบไปด้วย NaCl,  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$  และ KCl (commercial grade) ในปริมาณต่างกัน (Table 1) ซึ่งจะได้อัตราส่วนของแร่ธาตุชนิดต่างๆ ดัง Table 2 โดยแบ่งการเติมแร่ธาตุออกเป็น 10 ครั้ง เติมน้ำละ 1 ครั้ง ติดต่อกัน 2 วัน และหยุด 1 วัน เพื่อที่จะให้กุ้งได้ปรับสภาพต่อปริมาณแร่ธาตุที่เติมลงไป ในน้ำ ซึ่งความเข้มข้นของแร่ธาตุในน้ำได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescent spectrophotometer Oxford ED<sup>2000</sup> ตามวิธีการของ Pratoomchat *et al.* (2002) ให้อาหารกุ้งขาวที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 35% ไขมันไม่ต่ำกว่า 5 %

ไฟเบอร์ไม่มากกว่า 3% และความชื้นไม่มากกว่า 12% โดยให้ประมาณ 5% ของน้ำหนักตัว ใส่ในถาดอาหารเพื่อตรวจสอบการกินอาหารของกุ้งในแต่ละมื้อ หลังจากผ่านไป 2 ชั่วโมง เก็บอาหารที่เหลือออก

**Table 1** Quantity of mineral compounds using for adjust mineral proportion in cultured medium of *Litopenaeus vannamei* culture.

Mineral compounds	g/L	
	5 ppt	25 ppt
MgCl <sub>2</sub>	4.24	2.36
CaCl <sub>2</sub>	0.28	0.09
NaCl	4.96	7.55
KCl	0.33	0.09

**Table 2** Concentration and proportion of minerals in cultured medium for *Litopenaeus vannamei* culture.

Mineral	mg/L (Ratio of mineral)							
	5 ppt				25 ppt			
	Control 1		Treatment 1		Control 2		Treatment 2	
Ca:P	68:23	(3.0:1)	170:23	(7.4:1)	222:29	(7.7:1)	255:29	(8.8:1)
Mg:Ca	280:68	(4.1:1)	780:170	(4.6:1)	1,022:222	(4.6:1)	1,300:255	(5.1:1)
Na:Mg	2,146:280	(7.7:1)	4,100:780	(5.3:1)	5,427:1,022	(5.3:1)	8,400:1,300	(6.5:1)
Na:K	2,146:99	(21.7:1)	4,100:270	(15.2:1)	5,427:355	(15.3:1)	8,400:400	(21.0:1)
Cl:Na	3,021:2,146	(1.4:1)	7,600:4,100	(1.9:1)	9,901:5,427	(1.8:1)	12,000:8,400	(1.4:1)
Cl:K	3,021:99	(30.5:1)	7,600:4,100	(28.1:1)	9,901:355	(27.9:1)	12,000:400	(30.0:1)

### 3. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

บันทึกจำนวนกุ้งลอกคราบ จำนวนกุ้งตาย และลักษณะของกุ้งที่ตายระหว่างทำการทดลองทุกวัน ทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดความยาว ทุก 15 วัน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี T-test โดยโปรแกรม SPSS version 11.5 license number 30025 36098 54100 85475 59009 9652 เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%WG) เปอร์เซ็นต์ความยาวที่เพิ่มขึ้น (%LG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของน้ำหนัก (SGRW) และความยาว (SGRL) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของน้ำหนัก (%CVW) และความยาว (%CVL) อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ (FCR) และความถี่ของการลอกคราบ (%MF/day) ระหว่างชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุในแต่ละความเค็ม

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. การเจริญเติบโต และความแปรปรวนของขนาด

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Figure 1a) เปอร์เซ็นต์ความยาวที่เพิ่มขึ้น (Figure 1b) อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะของน้ำหนัก (Figure 1c) อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะของความยาว (Figure 1d) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Figure 1e) ของกุ้งชุดเสริมแร่ธาตุทั้งความเค็ม 5 และ 25 ppt สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของความยาว (Figure 1f) ของกุ้งชุดควบคุมสูงกว่าชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 25 ppt ในทางกลับกันชุดเสริมแร่ธาตุมีความแปรปรวนความยาวสูงกว่าชุดควบคุมที่ความเค็ม 5 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ขณะที่เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของน้ำหนัก (Figure 1g) ในชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ทั้งความเค็ม 5 และ 25 ppt

ผลของการเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 5 ppt โดยปรับอัตราส่วนเทียบเท่าความเค็ม 25 ppt มีอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na ในน้ำ เท่ากับ 4.6:1, 15.2:1, 7.4:1, 15.2:1, 28.1:1 และ 1.9:1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และจุดที่มีสภาวะความดันออสโมติกภายในร่างกายเท่ากับน้ำภายนอก (iso-osmotic point) ทำให้กุ้งสูญเสียพลังงานในการรักษาสมดุลเกลือแร่ต่ำ จึงส่งผลให้มีพลังงานเหลือไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้มากขึ้น เนื่องจากกุ้งไม่มีสภาวะเครียดในการปรับสมดุลออสโมติก จึงทำให้กุ้งมีประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการดูดซึมดีขึ้น (Lee and Lawrence, 1997; Pan *et al.*, 2006) จึงนำสารอาหารต่างๆ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะเห็นผลได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำหรือโปรตีนไม่มีคุณภาพ นอกจากนี้ที่ความเค็มต่ำกุ้งมีโอกาสสูญเสียกรดอะมิโนไปกับน้ำภายนอกเพื่อช่วยการรักษาสมดุลเกลือแร่ (Lee and Lawrence, 1997) ส่งผลเสียต่อการนำไปโปรตีนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต คล้ายคลึงกับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนักของกุ้งขาว (*L. vannamei*) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเลี้ยงที่ความเค็ม 4 ppt โดยมีการปรับอัตราส่วน Na:K และ Mg:Ca เท่ากับ 28:1 และ 3.1:1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งมี Na:K และ Mg:Ca เท่ากับ 30:1 และ 1.8:1 ตามลำดับ (Roy *et al.*, 2007) ขณะที่รายงานของ สว่างพงษ์ สมมาตร (2552) พบว่า การเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 5 ppt โดยเสริม NaCl, CaCl<sub>2</sub> และ KCl (commercial grade) ให้มีอัตราส่วนของ Na:K, Cl:K และ Cl:Na เท่ากับ 17.6:1, 27:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตกว่ากุ้งที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุ แสดงว่ากุ้งที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุลงไป ในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งในความเค็มต่ำโดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้น สามารถทำให้กุ้งได้รับแร่ธาตุเพียงพอเพื่อใช้ในกิจกรรมการดำรงชีวิตและเก็บสะสมในร่างกาย และช่วยลดสภาวะเครียด (Lin and Chen, 2001, 2003; Li *et al.*, 2007) ซึ่งการเสริมแร่ธาตุในอาหารให้ผลดีต่อการเจริญเติบโตเช่นกันสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ในน้ำความเค็มต่ำ (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2547)

ส่วนการเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 25 ppt โดยปรับอัตราส่วนเทียบเท่าความเค็ม 35 ppt ซึ่งเป็นความเค็มที่สูงกว่าจุดสมดุลออสโมติก และมีปริมาณแร่ธาตุที่กุ้งสามารถนำไปใช้ในด้านการเจริญเติบโตได้อย่างเกินพอซึ่งมีโอกาสสูญเสียพลังงานในการรักษาสมดุลภายในร่างกายต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเค็มต่ำ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของกุ้งเป็นไปอย่างปกติ แต่การเลี้ยงกุ้งที่ความเค็มสูงและมีความหนาแน่นมาก ย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้เช่นกัน ดังผลการทดลองพบว่า ชุดเสริมแร่ธาตุมีการเจริญเติบโตดีกว่าชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงกุ้งที่มีความหนาแน่นมากจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณแร่ธาตุต่างๆ จึงทำให้การเจริญเติบโตดี

ขึ้น โดยมีอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na ในน้ำ เท่ากับ 5.1:1, 6.5:1, 8.8:1, 21:1, 30:1 และ 1.4:1 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhu *et al.*, (2004) พบว่า การเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 30 ppt โดยมี Na:K เท่ากับ 20:1 ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงขึ้นและหากมีอัตราส่วนสูงกว่นี้จะส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง และการทดลองของ Pan *et al.* (2006) พบว่ากุ้ง *Marsupenaeus japonicus* ระยะโพสลาวาที่อนุบาลด้วยน้ำใต้ดินความเค็ม 20 ppt โดยอัตราส่วนของ Na:K และ Mg:Ca เท่ากับ 20-30:1 และ 4.5:1 ตามลำดับนั้น กุ้งมีการเจริญเติบโตดีขึ้นโดยไม่แตกต่างไปจากการใช้น้ำทะเล ดังนั้นการเลี้ยงกุ้งทะเลที่ความหนาแน่นมากจำเป็นต้องเสริมแร่ธาตุต่างๆ ลงไปเพื่อรักษาความเข้มข้นและอัตราส่วนของแร่ธาตุให้เหมาะสมกับความต้องการของกุ้งขาว (*L. vannamei*) อยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามหากมีการเสริมแร่ธาตุบางชนิดในการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 30 ppt โดยมีอัตราส่วน Na:K สูงถึง 187.3:1 มีผลทำให้การเจริญเติบโตของกุ้งลดลงได้เช่นกัน (Zhu *et al.*, 2004)

เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของน้ำหนักและความยาวของกุ้งทุกชุดการทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐาน (30%) แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของขนาดทั้งความเค็ม 5 และ 25 ppt แต่ความแปรปรวนของความยาวที่เกิดขึ้นกับกุ้งชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมที่ความเค็ม 5 ppt นั้น อาจเนื่องมาจากการเสริมแร่ธาตุลงไปส่งผลทำให้กุ้งบางส่วนมีการตอบสนองทางบวกและบางส่วนไม่มีการตอบสนอง กล่าวคือหากกุ้งมีการตอบสนองทางบวก ทำให้กุ้งมีความยาวเพิ่มขึ้นและเพิ่มในอัตราใกล้เคียงกัน แต่กุ้งบางส่วนที่ไม่มีการตอบสนองจะมีความยาวเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าความแปรปรวนสูงขึ้น ในทางกลับกันที่ความเค็ม 25 ppt การเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนดังกล่าวลงไปให้น้ำทำให้กุ้งส่วนใหญ่มีการตอบสนองทางบวก และมีอัตราการเพิ่มขนาดที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้มีค่าความแปรปรวนต่ำ

## 2. ความถี่ของการลอกคราบ

ความถี่ของการลอกคราบในชุดเสริมแร่ธาตุสูงกว่าชุดควบคุมทั้งความเค็ม 5 และ 25 ppt (Figure 1i) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนดังกล่าวในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ทั้งความเค็ม 2 ระดับ ส่งผลให้ความถี่ของการลอกคราบเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากกุ้งใช้เวลาในการสะสมแร่ธาตุที่สำคัญต่างๆ เพื่อใช้ในกระบวนการลอกคราบได้เร็วขึ้นและมีความพร้อมสูงในการสร้างเปลือก จึงทำให้กระบวนการลอกคราบของกุ้งในแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาสั้นลงและมีความถี่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ (2547) พบว่า การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) ที่ระดับความเค็มน้ำต่ำกว่า 20 ppt นั้น การเสริมแร่ธาตุบางชนิดในอาหารที่ระดับ 3% (60 g/kg) ส่งผลให้ระยะเวลาในการลอกคราบของกุ้งสั้นลงอย่างชัดเจน และทำให้ความถี่ของการลอกคราบเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ สว่างพงษ์ สมมาตร (2552) พบว่าการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 5 ppt โดยมีการเสริมแร่ธาตุลงในน้ำส่งผลให้ความถี่ของการลอกคราบเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้จะเป็นเพราะการเสริมแร่ธาตุลงในอาหารเป็นการช่วยเสริมสร้างกระบวนการสร้างเปลือก (calcification) ทำให้ระยะเวลาในการลอกคราบสั้นลง (Pante, 1990 อ้างโดย Li *et al.*, 2008)

## 3. อัตราการแลกเนื้อ (FCR)

อัตราการแลกเนื้อในชุดเสริมแร่ธาตุต่ำกว่าชุดควบคุมทั้งความเค็ม 5 และ 25 ppt (Figure 1h) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนดังกล่าวของการทดลองนี้มีผลทางบวกอย่าง

ชัดเจนเนื่องจากกุ้งได้รับปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อสมดุเกลือแรมและแรมธาตุ (iso-osmotic and iso-ionic points) และสรีระเคมีภายในร่างกาย ทำให้กุ้งใช้พลังงานเพื่อการรักษาความสมดุเกลือแรมภายในร่างกายลดลง เพราะพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากโปรตีน รวมถึงมีการลดการใช้ออกซิเจนเพื่อปรับสมดุเกลือแรมจึงมีออกซิเจนเหลือมามากขึ้นเพื่อสนับสนุนเมตาบอลิซึมภายในร่างกาย (Li *et al.*, 2008) และยังมีส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการดูดซึม เพราะกุ้งมีผลตอบสนองทางบวกต่อกิจกรรมของเอนไซม์ (enzyme activity) จึงลดการสูญเสียพลังงานไปเพื่อการนี้ (Villarreal *et al.*, 1994; Lee and Lawrence, 1997; Pan *et al.*, 2006) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลอกคราบให้สูงขึ้นและใช้พลังงานลดลง เพราะการลอกคราบแต่ละครั้งนั้นกุ้งมีโอกาสสูญเสียพลังงานรวมทั้งก่อนและภายหลังลอกคราบเพื่อการสร้างเปลือกใหม่ 7.6-17.3% สำหรับลูกกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) (Kurmaly, 1989) และ 7.1-15.1% สำหรับกุ้ง *Hormarus americanus* วัชรุ่น (Logan and Epifanio, 1978) ซึ่งกุ้งแต่ละชนิดจะมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันไป (Carvalho, 1992; Lemos and Phan, 2001) ด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้จึงทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนมีค่าต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สว่างพงษ์ สมมาตร (2552) พบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนของกุ้งขาว (*L. vannamei*) ต่ำกว่าเช่นกันหากมีการเสริมแร่ธาตุเมื่อเลี้ยงที่ความเค็ม 5 ppt

#### 4. อัตราการรอด

อัตราการรอดในชุดเสริมแร่ธาตุสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ที่ความเค็ม 5 ppt ขณะที่ความเค็ม 25 ppt ไม่แตกต่างกัน (Figure 1j) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แสดงว่าที่ความเค็มต่ำมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมมาก ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตและอัตราการรอดของกุ้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำความเค็มต่ำนั้นย่อมส่งผลต่อระดับของ Na และ K มีผลต่อกิจกรรมของ  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$  ซึ่งมีความสำคัญต่อการควบคุมสมดุออสโมติก (Towle, 1981; Wang *et al.*, 2003) รวมถึงความเค็มน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (25 ppt) หากมีการเสริมแร่ธาตุเพิ่มเข้าไปให้เพียงพอต่อทั้งสมดุเกลือแรมและสมดุออสโมติก (iso-osmotic and ionic points) ล้วนมีผลบวกต่ออัตราการรอด กล่าวคือการทำกุ้งต้องเผชิญกับความเค็มต่ำอย่างต่อเนื่องนั้น ทำให้กุ้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำออกจากร่างกายได้ต่ำลง ทำให้ของเหลวภายในร่างกายถูกเจือจางมากเกินไป จึงส่งผลต่อระบบสรีระร่างกายและเซลล์ ประกอบกับความสามารถในการดึงแร่ธาตุมาใช้ในการสร้างเปลือกได้ช้าลง (Lignot *et al.*, 2000) ทำให้กุ้งตายภายหลังการลอกคราบและตายคาคราบเป็นจำนวนมาก ส่งผลลบต่ออัตราการรอดในภาพรวม ในทางกลับกันหากมีปริมาณแร่ธาตุที่เพียงพอหรือมีการเสริมแร่ธาตุให้เพียงพอกับความต้องการของกุ้ง กุ้งสามารถดึงเอาแร่ธาตุมาใช้ภายในสรีระร่างกายและกระบวนการสร้างเปลือกอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถที่จะลดสภาวะเครียดของกุ้งต่ำลงและส่งผลดีต่อระบบภูมิคุ้มกัน (Pan *et al.*, 2005) ทำให้กุ้งมีความทนทานต่อโรคมากขึ้น จึงส่งผลบวกต่ออัตราการรอด Roy *et al.* (2007) พบเช่นกันว่าการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่มีการเสริมแร่ธาตุโดยให้มีอัตราส่วนของ Na:K เท่ากับ 28:1 ที่ความเค็ม 4 ppt ทำให้อัตราการรอดกุ้งเพิ่มสูงขึ้น และการเสริมแร่ธาตุบางชนิดลงไปในน้ำของการเลี้ยงกุ้งชนิดเดียวกันที่ความเค็ม 5 ppt ทำให้มีอัตราการรอดสูงกว่ากุ้งที่ไม่ได้รับการเสริมแร่ธาตุ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ในทำนองเดียวกันกับการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 30 ppt โดยมี Na:K เท่ากับ 20:1 มีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุมซึ่งมี Na:K เท่ากับ 27.8:1 (Zhu *et al.*, 2004) และการเลี้ยงกุ้ง *M. japonicus* ระยะโพลลวาระด้วยน้ำความเค็ม 20 ppt และปรับ Na:K และ Mg:Ca เท่ากับ 20-30:1 และ 4.5:1 ตามลำดับ ส่งผลให้กุ้งมีอัตราการรอดสูงกว่าชุดที่น้ำมีอัตราส่วนของ Na:K เท่ากับ 10:1 และ 40-60:1 และที่มีอัตราส่วนของ

Mg:Ca เท่ากับ 2.5-4:1 และ 5.0:1 (Pan *et al.*, 2006) เช่นเดียวกันกับผลการทดลองนี้ พบว่าอัตราการรอดไม่แตกต่างกันที่ความเค็ม 25 ppt โดยชุดควบคุมมีอัตราส่วนของ Na:K และ Mg:Ca เท่ากับ 15.3:1 และ 4.6:1 ตามลำดับ และชุดเสริมแร่ธาตุมีอัตราส่วนของ Na:K และ Mg:Ca เท่ากับ 21.0:1 และ 6.5:1 ตามลำดับ หากมีอัตราส่วนของ Na:K เท่ากับ 119:1 ซึ่งสูงมากไปมีผลทำให้อัตราการรอดของกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงในความเค็ม 4 ppt ต่ำลง (Roy *et al.*, 2006; Roy, *et al.*, 2007)

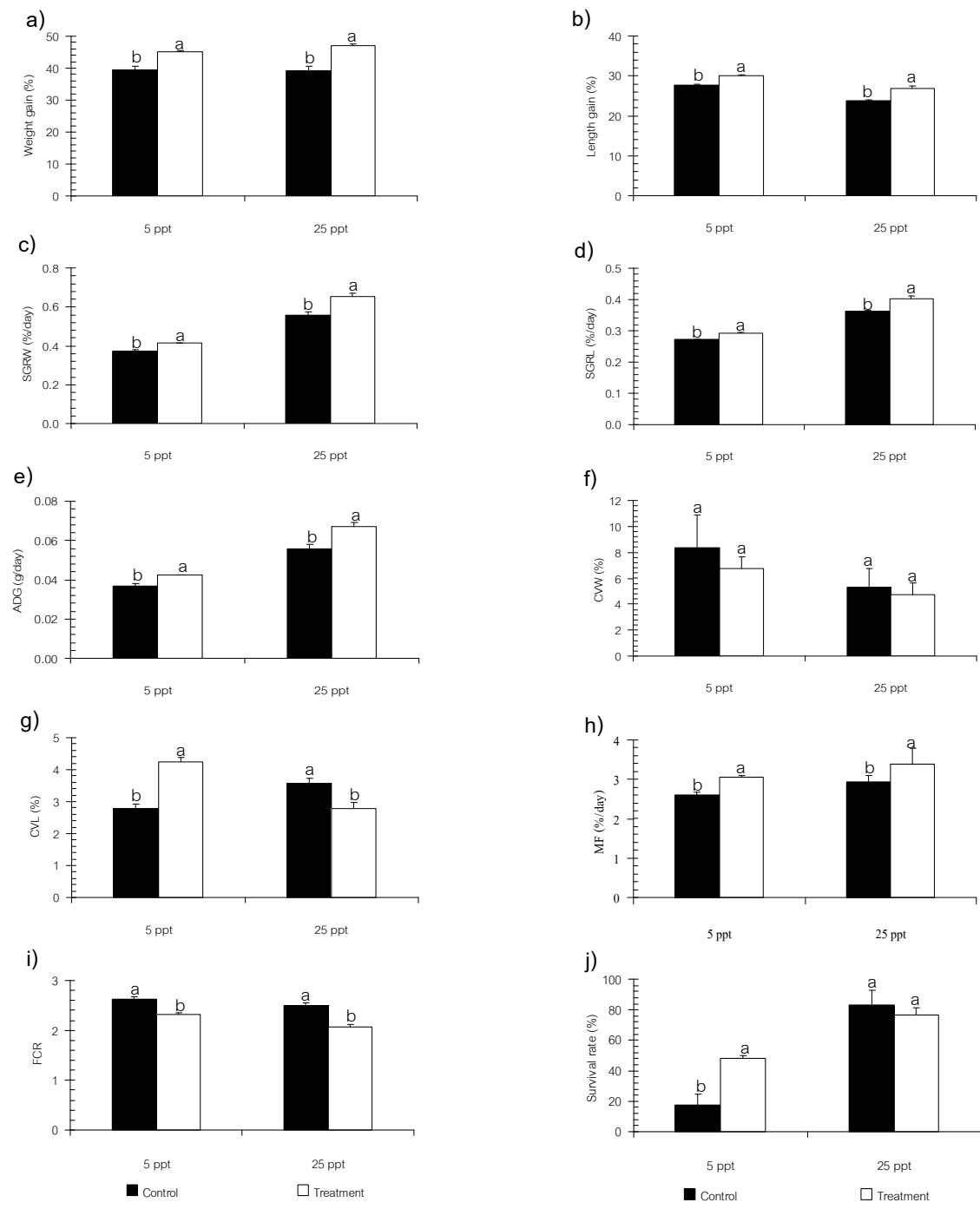


Figure 1 Weight gain (a), length gain (b), specific growth rate of length (c) and weight (d), average daily growth (e), size variation in weight (f) and length (g), molting frequency (h), food conversion ratio (i) and survival rate (j) of *L. vannamei* after culturing for 90 days. Vertical bars indicate  $\pm$ S.E.M. ( $p < 0.05$ ).

## สรุป

1. การเสริมแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ว่ายรุ่นที่ความเค็ม 5 และ 25 ppt ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักและความยาว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ความถี่ของการลอกคราบ อัตราการรอดของกุ้งขาวที่เลี้ยงในความเค็มทั้ง 2 ระดับ สูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้นอัตราการรอดที่ความเค็ม 25 ppt ที่ไม่แตกต่างกัน
2. เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของความยาวกุ้งขาว (*L. vannamei*) ชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดเสริมแร่ธาตุที่ 25 ppt แต่ให้ผลตรงกันข้ามที่ความเค็ม 5 ppt ขณะที่เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของน้ำหนักไม่แตกต่างกัน
3. อัตราการแลกเปลี่ยนในชุดเสริมแร่ธาตุต่ำกว่าชุดควบคุมที่ความเค็ม 5 และ 25 ppt

## เอกสารอ้างอิง

- บุญรัตน์ ประทุมชาติ บัลลังก์ เนื่องแสง และณอมศักดิ์ บุญภักดี. 2547. ผลของการเสริมเกลือแร่ในอาหารและการเปลี่ยนแปลงสรีระเคมีของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงระบบพัฒนา. ภาควิชาวาริชศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา. 64 หน้า.
- สว่างพงษ์ สมมาตร. 2552. ผลของความเค็มน้ำต่อสรีระเคมีและการเสริมแร่ธาตุบางชนิดในระบบการเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) เจริญพาณิชย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวาริชศาสตร์. ภาควิชาวาริชศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา. 73 หน้า.
- Carvalho, P.S.M. 1992. Bioenergetica do camarao-sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862). Avaliacao do metabolismo, excrecao de amonia e calorimetria. Master of Science dissertation, University of Sao Paulo, IOUSP, Sao Paulo, Brazil, 206
- Kurmaly, K., A.B. Yule, and D.A. Jones. 1989. An energy budget for the larvae of *Penaeus monodon* (Fabricius). *Aquaculture* 81:13-25.
- Lee, P.G., and A.L. Lawrence. 1997. Digestibility. In *Crustacean Nutrition Advances in World aquaculture Vol.6*. D' Abramo L.R. et al (Eds):194-260.
- Lemos, D., and V.N. Phan. 2001. Energy partitioning into growth, respiration, excretion and exuvia during larval development of the shrimp *Farfantepenaeus paulensis*. *Aquaculture* 199:131-143.
- Li, E.C., L.Q. Chen, C. Zeng, X.M. Chen, N. Yu, Q.M. Lai, and J.G. Qin. 2007. Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei* at different salinities. *Aquaculture* 265:385-390.
- Li, E.C., L.Q. Chen, C. Zeng, X.M. Chen, N. Yu, Q.M. Lai, and J.G. Qin. 2008. Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin contents and hepatopancreas histology of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* at various salinities. *Aquaculture* 274:80-86.



- a
- Lignot, J.H., C. Spanings-Pierrot, and G. Charmantier. 2000. Osmoregulatory as a tool in monitoring the physiological condition and the effect of stress in crustaceans. *Aquaculture* 191:209-245.
- Lin, Y.C., and J.C. Chen. 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 259:109-119.
- Lin, Y.C., and J.C. Chen. 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture* 224:193-201.
- Logan, D.T., and C.E. Epifanio. 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobster *Homarus americanus*. *Marine Biology* 47:381-389.
- Pan, L.Q., Ling-Xu, Jiang, Jing-Jing, Lu-Qing, M., Pan, Ling-Xu, Jiang, Jing-Jing, and Miao. 2005. Effects of salinity and ph on immune parameters of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Shellfish Research* 24(4):1223-1227.
- Pan, L.Q., Z.H. Luan, and C.X. Jin. 2006. Effects of  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^+/\text{Ca}^+$  ratios in saline ground waters on  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ -ATPase activity, survival and growth of *Marsupenaeus japonicus* postlarvae. *Aquaculture* 261:1396-1402.
- Pratoomchat, B., P. Sawangwong, P. Pakkong, and J. Machado. 2002. Organic and inorganic compound variations in hemolymph, epidermal tissue and cuticle over the molt cycle in *Scylla serrata* (Decapoda). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 131:243-255.
- Roy, L.A., D.A. Davis, and I.P. Saoud. 2006. Effects of lecithin and cholesterol supplementation to practical diets for *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity waters. *Aquaculture* 257:446-452.
- Roy, L.A., D.A. Davis, I.P. Saoud, and R.P. Henry. 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262:461-469.
- Towle, D.W. 1981. Role of  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ -ATPase in ionic regulation by marine and estuarine animals. *Marine Biology* 2:107-122.
- Villarreal, H., P. Hinojosa, and J. Naranjo. 1994. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* postlarvae. *Comparative Biochemistry and Physiology* 108 A:331-336.
- Wang, W.N., A.L. Wangb, D.M. Wanga, L. Wanga, Y. Liua, and R.Y. Sunb. 2003. Calcium, phosphorus and adenylate levels and  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ -ATPase activities of prawn, *Macrobrachium nipponense*, during the moult cycle. *Comparative Biochemistry and Physiology* 134:297-305.
- Zhu, C., S. Dong, F. Wang, and G. Huang. 2004. Effects of Na/K ratio in seawater on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 234:485-496.