อภิปรายและสรุปผล

ผลของการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนที่ความเค็ม 10 ppt

โซเดียม (Na) คลอไรด์ (Cl) และ โพแทสเซียม (K)

Na และ Cl นับว่าเป็นองค์ประกอบหลักถึง 91% ในพลาสมา และทำหน้าที่ในการควบคุมระบบ osmoregulation (Tantulo & Fotedar, 2006) พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่ในโครงสร้างเปลือกมีค่าไม่แตกต่างเช่นกัน ชี้ให้เห็นว่า การเสริมแร่ธาตุบางชนิดไม่มีผลกระทบต่อสภาวะสมดุลไอออนภายในร่างกาย และสามารถควบคุมความเข้มข้นของ Na ในโครงสร้างเปลือกได้ในระดับปกติ ขณะที่การเสริม NaCl ส่งผลให้ความเข้มข้นของ Na ในตับ (7.2 mg/g) สูงกว่าชุดเสริมแร่ธาตุ (4.5 mg/g) และชุดควบคุม (3.6 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า การเสริม NaCl มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้งและอาจจะไปรบกวนสภาวะสมดุลไอออนภายในร่างกาย เป็นไปได้ว่า กุ้งพยายามขับ Na ออกนอกร่างกาย แต่ไม่เพียงพอจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นของ Na ในตับให้สูงขึ้น และน่าจะใช้ในการปรับอัตราส่วนของแร่ธาตุบางชนิดให้เกิดความเหมาะสมอีกด้วย ในขณะที่ ชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุกุ้งยังคงควบคุมความเข้มข้นของ Na ได้อย่างปกติ แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุบางชนิดไม่มีผลกระทบต่อสรีระเคมีและระบบสมดุลไอออนภายในร่างกาย โดยชุดเสริมแร่ธาตุจะมีความเข้มข้นของ Na ในน้ำเพิ่มสูงขึ้นควบคู่ไปกับแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ จึงไม่มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ (2551) พบว่า กุ้งขาว (*L. vanamei*) จะเพิ่มขึ้นระดับความเข้มข้นของ Na ในพลาสมาเมื่อความเค็มสูงกว่า 15 ppt และรักษาระดับคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 20-50 ppt ขณะที่ในตับมีระดับคงที่ตลอดช่วงความเค็ม 2.8-45 ppt ส่วนในเปลือกกุ้งจะควบคุมระดับให้คงที่ในช่วงความเค็ม 10-20 ppt และลดระดับความเข้มข้นลงเมื่อความเค็มน้ำเพิ่มสูงขึ้น (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งยังมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งชนิดเดียวกันที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 20 ppt ซึ่งความเข้มข้นของ Na ในพลาสมามีค่า 10,257 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) และพบว่าในตับ (11.6 mg/g) มีค่าสูงกว่า และเปลือก (13.5 mg/g) (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) มีค่าต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้

Cl พบในของเหลวภายในและภายนอกเซลล์สัตว์ มีส่วนกระตุ้นน้ำย่อยอะไมเลส (amylase) ให้ทำงานดีขึ้น รักษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำย่อยและเป็นส่วนประกอบในน้ำย่อยด้วย (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2546) จากการทดลองพบว่า ในพลาสมาของกุ้งชุดเสริม NaCl (11,046 mg/L) มีค่าสูงกว่าชุดเสริมแร่ธาตุ (9,387 mg/L) และชุดควบคุม (9,687 mg/L) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า ในชุดเสริมแร่ธาตุไม่มีผลกระทบต่อสภาวะสมดุลไอออนภายในร่างกาย และกุ้งยังคงอยู่ใน

สภาวะปกติเช่นเดียวกับชุดควบคุม ขณะที่การควบคุมความเข้มข้นของ Cl ในโครงสร้างเปลือกเป็นไปตามปกติ และมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดควบคุม (30.6 mg/g) และชุดเสริมแร่ธาตุ (29.9 mg/g) ขณะที่ชุดเสริม NaCl มีค่า 14.6 mg/g ซึ่งต่ำกว่าทั้ง 2 กลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการสะสมในตับทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า การเสริม NaCl มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง เห็นได้ชัดเจนจากกุ้งมีระดับความเข้มข้นของ Cl ในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของ Na เข้าสู่ระบบเลือดสูงเกินไปทำให้กุ้งจำเป็นที่จะต้องดึงเอา Cl จากเปลือกไปช่วยในการรักษาสมดุลไอออนให้กลับสู่สภาวะปกติ และเป็นไปได้ว่า จะใช้ในการปรับอัตราส่วนของแร่ธาตุบางชนิดให้มีความเหมาะสมด้วย จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของ Cl ในเปลือกลดลงซึ่งอาจจะส่งผลให้กระบวนการสร้างเปลือกผิดปกติได้ ถึงแม้ว่าการเสริมแร่ธาตุยังส่งผลให้ความเข้มข้นของ Cl ในน้ำเพิ่มสูงขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของ Cl ในชุดเสริมแร่ธาตุจะควบคู่ไปกับแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ จึงไม่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมสมดุลในเลือดและตับ แต่กลับส่งผลดีต่อโครงสร้างเปลือก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า กุ้งพยายามรักษาระดับของ Cl ในพลาสมาให้คงที่ตลอดช่วงความเค็ม 10-20 ppt และเพิ่มระดับเมื่อความเค็มน้ำสูงขึ้น (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) และในตับมีระดับคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 10-50 ppt เช่นเดียวกับเปลือกจะมีระดับคงที่ในช่วงความเค็ม 5-35 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งชนิดเดียวกันที่ความเค็ม 20 ppt โดยความเข้มข้นของ Cl ในพลาสมามีค่า 8,451 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) และในเปลือกมีค่า 27.5 mg/g ส่วนในตับพบความเข้มข้นของ Cl มีค่า 0.7 mg/g) (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งต่ำกว่าที่พบในการทดลองครั้งนี้

K ในพลาสมา พบว่า กุ้งในชุดเสริม NaCl (490 mg/L) มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมมีค่า 310 mg/L และชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 342 mg/L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุไม่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมความเข้มข้นของ K ในพลาสมา ซึ่งกุ้งยังอยู่ในสภาวะปกติและสามารถรักษาสมดุลไอออนภายในร่างกายได้ดี ยกเว้นการเสริม NaCl ที่มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง และอาจไปรบกวนการสร้างสภาวะไอออนใหม่ภายในร่างกายและไปมีผลกระทบต่ออัตราส่วนของแร่ธาตุส่งผลให้กุ้งเพิ่มระดับความเข้มข้นของ K ในพลาสมาสูงขึ้น เป็นไปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของ K จะใช้ในการปรับอัตราส่วนของ Na:K ให้มีความเหมาะสม เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นของ K ในโครงสร้างเปลือกที่มีระดับเพิ่มสูงขึ้นในชุดเสริม NaCl มีค่า 25.2 mg/g และชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 26.4 mg/g ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (14.1 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการเสริม NaCl อาจจะไปรบกวนประสิทธิภาพการใช้ K ในตับ ทำให้กุ้งจำเป็นที่จะต้องเพิ่มการสะสม K สูงขึ้น พบว่า ชุดเสริม NaCl (10.2 mg/g) มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (8.7 mg/g) และชุดเสริมแร่ธาตุ (7.5 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเสริมแร่ธาตุยังส่งผลให้ความเข้มข้นของ K ในน้ำเพิ่มขึ้นและควบคู่ไปกับแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดเสริมแร่ธาตุจึงไม่มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง สอดคล้องกับงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า กุ้งจะพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ K ในพลาสมาอยู่ในระดับคงที่

ตลอดช่วงความเค็ม 2.8-20 ppt และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับที่พบในตับ ขณะที่ในเปลือกพบว่า เมื่อความเค็มน้ำเพิ่มสูงกว่า 10 ppt กุ้งจะลดระดับความเข้มข้นลงและรักษาระดับคงที่ตลอดช่วงความเค็ม 15-50 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ขณะที่การเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vanamei*) ความเค็ม 20 ppt พบว่า ความเข้มข้นของ K ในพลาสมามีค่า 404 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ซึ่งสูงกว่าการทดลองในครั้งนี้เช่นเดียวกับในตับและเปลือกมีค่า 12.3 และ 13.8 mg/g ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) มีค่าต่ำกว่าการทดลองนี้

แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และ ฟอสฟอรัส (P)

Ca เป็นแร่ธาตุหลักที่สำคัญในการสร้างเปลือกของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียน (Pratoomchat et al., 2002b) และมีความสำคัญในการสร้างเนื้อเยื่อ ระบบประสาท และในระบบ osmoregulation (Lovell, 1989) จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของ Ca ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า กุ้งอยู่ในสภาวะสมดุลปกติของ Ca ในระบบเลือดและการเสริมแร่ธาตุไม่มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง แต่กลับส่งผลดีต่อระบบในโครงสร้างเปลือก เนื่องจากความเข้มข้นของ Ca ในชุดเสริม NaCl (105.8 mg/g) และชุดเสริมแร่ธาตุ (113.3 mg/g) มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (74 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของการใช้ Ca ในโครงสร้างเปลือก ส่วนในชุดควบคุมกุ้งจะพยายามรักษาความเข้มข้นของ Ca ให้อยู่ในระดับปกติ แต่ในตับกลับมีการสะสมเพิ่มสูงขึ้น เป็นไปได้ว่า กลไกการนำ Ca ไปใช้ได้ไม่ดี จึงจำเป็นต้องสะสม Ca ไว้ในตับหรือไว้ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เมื่อขาดแคลน พบว่า ชุดควบคุม (8.9 mg/g) มีค่าสูงกว่าชุดเสริม NaCl และชุดเสริมแร่ธาตุ (7.2 และ 6 mg/g ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเสริมแร่ธาตุกลับมีความเข้มข้นของ Ca ในตับลดลง อาจส่งผลมาจากการเสริมแร่ธาตุทำให้กลไกในการเคลื่อนที่ของ Ca เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกได้ดี ทำให้มีระดับความเข้มข้นในตับลดลง เพราะ Ca เป็นแร่ธาตุที่สำคัญในการสร้างเปลือกของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียน (Pratoomchat et al., 2002b) ซึ่งกุ้งขาว (*L. vanamei*) จะพยายามรักษาความเข้มข้นของ Ca ในพลาสมาให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 2.8-50 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับในโครงสร้างเปลือก แต่กุ้งจะลดระดับความเข้มข้นของ Ca ลงเมื่อความเค็มสูงกว่า 40 ppt ส่วนในตับจะลดระดับลงเมื่อความเค็มสูงกว่า 20 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และมีค่าใกล้เคียงกับการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vanamei*) ที่ความเค็ม 20 ppt พบว่า ความเข้มข้นของ Ca ในพลาสมามีค่า 654 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ส่วนตับและเปลือกมีค่า 8.5 และ 131 mg/g ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) เช่นเดียวกับรายงานการวิจัยของ บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ (2546) กล่าวว่ากุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) จะควบคุมระดับความเข้มข้นของ Ca ในพลาสมาไม่ให้สูงมากเกินไป จึงจำเป็นจะต้องขับ Ca ออกนอกร่างกายและนำไปใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกหรือ

เก็บสะสมไว้ในอวัยวะต่าง ๆ โดยกุ้งพยายามรักษาระดับความเข้มข้น Ca ให้อยู่ในช่วง 520-640 mg/L (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2547ก)

Mg นับว่าเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างเปลือกตลอดวงจรการลอกคราบ (Pratoomchat et al., 2002b) และยังมีความจำเป็นต่อกุ้งทะเลในแง่เป็นตัวช่วยปรับสมดุลไอออนภายในร่างกาย (Mantel & Farmer, 1983) จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของ Mg ในพลาสมาทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุไม่ไปรบกวนสภาวะสมดุลไอออนภายในร่างกายและกุ้งอยู่ในสภาวะปกติ แต่กลับส่งผลดีต่อโครงสร้างเปลือก พบว่าในชุดเสริม NaCl (16.4 mg/g) และชุดเสริมแร่ธาตุ (17 mg/g) ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (6.2 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นไปได้ว่าการเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วนสามารถทำให้กุ้งยอมรับความเข้มข้นของ Mg ในเปลือกได้เพิ่มขึ้น และไม่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมในตับ ซึ่งกุ้งสามารถควบคุมระดับความเข้มข้นได้ปกติ โดยพบว่า ชุดเสริม NaCl พบ Mg เท่ากับ 4.7 mg/g ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (2.4 mg/g) และชุดเสริมแร่ธาตุ (0.9 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการเสริม NaCl ส่งผลต่อสภาวะสมดุลภายในตับ และอาจจะมีผลกระทบต่ออัตราส่วนของแร่ธาตุ ทำให้กุ้งจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความเข้มข้นของ Mg ในตับให้สูงขึ้นเพื่อปรับสมดุลให้กลับสู่สภาวะปกติและใช้ในการปรับอัตราส่วนให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่งในการเสริมแร่ธาตุยังส่งผลให้ความเข้มข้นของ Mg ที่เพิ่มสูงขึ้นแต่ควบคู่ไปกับแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ จึงส่งผลดีต่อโครงสร้างเปลือก เห็นได้ชัดจากงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า ปกติกุ้งพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ Mg ในพลาสมากุ้งจะมีความเข้มข้นคงที่ตลอดช่วงความเค็ม 2.8-45 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ขณะที่ในตับและเปลือกมีระดับคงที่ตลอดช่วงความเค็ม 2.8-35 ppt และเพิ่มสูงขึ้นช่วงความเค็ม 35-45 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ขณะที่งานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกันที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 20 ppt พบว่า Mg ในพลาสมา (96 mg/L) (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้ เช่นเดียวกับในตับ (2.7 mg/g) ขณะที่ Mg ในเปลือกมีค่าใกล้เคียงกันการทดลองครั้งนี้ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และงานวิจัยในกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) ที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 20 ppt พบว่าความเข้มข้นของ Mg ในพลาสมามีค่า 291 mg/L (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2547ก)

ปริมาณความเข้มข้นของ P กุ้งจะได้รับมาจากอาหารเป็นหลัก ซึ่งมีความสำคัญต่อการผลิตพลังงาน เป็นส่วนประกอบของ nucleic acid, phospholipids phosphoprotein, ATP, กิจกรรมของเอ็นไซม์ (Lovell, 1989) มีส่วนร่วมกับ Ca ในโครงสร้างเปลือก ยังมีความสัมพันธ์กับ alkaline phosphatase และมีส่วนช่วยระบบ osmoregulation (Lovett, Towle, & Fairs, 1994; Cheng et al, 2006) ซึ่งความเข้มข้นของ P ในพลาสมา พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่ากุ้งยังคงรักษาความเข้มข้นของ P ได้ดีถึงแม้การเสริมแร่ธาตุก็ตาม ขณะที่ในโครงสร้างเปลือกมีค่าไม่แตกต่างเช่นกัน ยกเว้นในตับที่มีผลกระทบจากการเสริมแร่ธาตุ โดยเฉพาะการเสริม NaCl ทำให้กุ้งมีการสะสม P เท่ากับ 4.4 mg/g ซึ่งสูงกว่าชุดทดลองและชุดเสริมแร่ธาตุ (3.3 และ 2.1 mg/g ตามลำดับ)

แสดงว่า การเสริม NaCl ไปรบกวนต่อระบบควบคุมและอัตราส่วนของแร่ธาตุภายในตับจึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความเข้มข้นของ P ให้สูงขึ้น เพื่อใช้ในการปรับสมดุลไอออน ขณะที่ชุดเสริมแร่ธาตุกุ้งจะลดระดับความเข้มข้นเพื่อปรับอัตราส่วนของ Ca:P ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุหลายชนิดแต่ไม่มีผลกระทบต่อการสะสม P ในพลาสมาและเปลือก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า กุ้งจะพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ P ในพลาสมาให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดความเค็ม 10-20 ppt และจะลดระดับลงเมื่อความเค็มเพิ่มสูงขึ้น (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับระดับความเข้มข้นในเปลือก ขณะที่ในตับจะคงที่ตลอดในช่วง 10-30 ppt และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเค็มน้ำเพิ่มขึ้น (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งชนิดเดียวกันเลี้ยงในน้ำความเค็ม20 ppt พบว่า ความเข้มข้นของ P ในพลาสมามีค่า 168 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ส่วนในตับ (5.2 mg/g) มีค่าสูงกว่าและในเปลือกมีค่า 7.2 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้และสอดคล้องกับงานวิจัยในกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) พบว่า กุ้งพยายามรักษา P ในพลาสมาให้อยู่ในช่วง 520-640 mg/L (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2547ก)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ Na:K, Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Cl:Na และ Cl:K ในพลาสมา ของกุ้งทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า กุ้งสามารถควบคุมอัตราส่วนของแร่ธาตุได้ดี ถึงแม้จะมีการเสริมแร่ธาตุหลายชนิดหรือเฉพาะ NaCl ก็ตาม เป็นไปได้ว่ากุ้งไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะแวดล้อมอย่างไร ก็จะพยายามควบคุมระดับอัตราส่วนของแร่ธาตุให้อยู่ในสภาวะปกติเสมอ และอาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้องเพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะต่าง ๆ ซึ่งจากการทดลองพบว่า มีค่าใกล้เคียงกับที่พบในพลาสมากุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุมที่ความเค็ม 20 ppt แต่ให้ผลแตกต่างกับที่พบในกุ้งชนิดเดียวกันที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 20 ppt โดยอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Na:K, Cl:K และ Ca:P มีค่า 0.1:1, 117.3:1, 28.0:1, 20.9:1 และ 3.9:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551)

อัตราส่วนของแร่ธาตุในตับพบว่า ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นอัตราส่วนของ Mg:Ca ในชุดเสริม NaCl มีค่าเท่ากับ 0.7:1 ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (0.3:1) และชุดเสริมแร่ธาตุ (0.2:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่อัตราส่วนของ Ca:P ในชุดเสริม NaCl มีค่าเท่ากับ 1.7:1 ซึ่งต่ำกว่าชุดเสริมแร่ธาตุ (3.0:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ชุดควบคุมและชุดเสริม NaCl มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการเสริม NaCl ส่งผลให้กุ้งมีการสะสม Mg และ P เพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ Ca กลับมีค่าลดลง เนื่องจากกุ้งมีกลไกในการเคลื่อนย้าย Ca จากตับไปสูงโครงสร้างเปลือกได้ดีขึ้น ทำให้อัตราส่วนของ Mg:Ca ในชุดเสริม NaCl มีค่า 0.7:1 ซึ่งสูงกว่าชุดเสริมแร่ธาตุ (0.2:1) และชุดควบคุม (0.3:1) และ Ca:P ในชุดเสริม NaCl มีค่าเท่ากับ 1.7:1 ซึ่งต่ำกว่าชุดเสริมแร่ธาตุ (3.0:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่อัตราส่วนของ Na:Mg ในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 4.1:1 ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (2.1:1) และชุดเสริม NaCl (1.5:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากชุดเสริมแร่ธาตุส่งผลทำให้กุ้ง

ลดระดับความเข้มข้นของ Mg เพื่อควบคุมปริมาณให้เหมาะสมกับความต้องการแต่จะไม่มีผลกระทบต่อสภาวะสมดุล จึงทำให้อัตราส่วนของ Na:Mg เพิ่มสูงขึ้น และยังส่งผลให้อัตราส่วนบางชนิดมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมที่ความเค็ม 20 ppt ยกเว้นอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg และ Ca:P มีค่า 0.4:1, 2.0:1 และ 1.4:1 ตามลำดับ และมีค่าใกล้เคียงกันกับที่พบในตับของกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 20 ppt ยกเว้น Na:K, Cl:K และ Ca:P มีค่า 0.9:1, 0.06:1 และ 1.63:1 ตามลำดับ (สว่าง พงษ์ สมมาตร, 2552)

ส่วนในเปลือกพบว่า อัตราส่วนของ Ca:P ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราส่วนของ Mg:Ca ในชุดเสริม NaCl มีค่าเท่ากับ 0.15:1 และชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าเท่ากับ 0.16:1 ซึ่งสูงกว่ากับชุดควบคุม (0.08:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกุ้งเมื่อได้รับการเสริมแร่ธาตุหลายชนิด หรือว่าเฉพาะ NaCl ก็ตาม สามารถดึงเอา Mg และ Ca มาสะสมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญกับโครงสร้างเปลือก จึงส่งผลให้อัตราส่วนของ Mg:Ca มีค่าเพิ่มสูงขึ้นแต่กลับส่งผลให้อัตราส่วนของ Na:Mg ในชุดเสริม NaCl มีค่า 1.2:1 และชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 1.0:1 ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (2.9:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับอัตราส่วนของ Na:K และ Cl:K ที่ชุดเสริม NaCl และชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าเท่ากับ 0.7:1, 0.6:1 และ 0.7:1, 1.3:1 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าชุดควบคุม (1.3:1 และ 2.2:1 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกุ้งดึง Cl จากโครงสร้างเปลือกไปช่วยในการรักษาสมดุลไอออนภายในระบบเลือดสูงขึ้น ทำให้ Cl ในโครงสร้างเปลือกลดต่ำลง ในขณะที่ Na ยังคงอยู่ในสภาวะปกติ และกุ้งพยายามเพิ่ม K ให้สูงขึ้นด้วยเพื่อใช้ในการปรับอัตราส่วนของ Na:K ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้อัตราส่วนของดังกล่าวมีค่าต่ำลง และยังส่งผลต่ออัตราส่วนของ Cl:Na ในชุดเสริม NaCl มีค่าเท่ากับ 0.8:1 ซึ่งต่ำกว่าชุดควบคุม (1.7:1) และชุดเสริมแร่ธาตุ (1.8:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การเสริมแร่ธาตุสามารถลดและเพิ่มอัตราส่วนของแร่ธาตุบางชนิดในโครงสร้างเปลือกได้ดีขึ้น และมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมที่ความเค็ม 20 ppt อีกด้วย ขณะที่การเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 20 ppt พบว่า อัตราส่วนของ Mg:Ca มีค่าใกล้เคียงกันการทดลองในครั้งนี้ ขณะที่ Na:Mg, Na:K, Cl:Na, Cl:K และ Ca:P มีค่า 1.2:1, 1.0:1, 2.0:1, 2.0:1 และ 18.3:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งสูงกว่าการทดลองในครั้งนี้

ผลของการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนที่ความเค็ม 20 ppt

โซเดียม (Na) คลอไรด์ (Cl) และ โพแทสเซียม (K)

ปริมาณความเข้มข้นของ Na และ K ในพลาสมาพบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่ในตับมีค่าไม่แตกต่างเช่นกัน แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุไม่มีผลกระทบต่อสภาวะสมดุลไอออนภายในร่างกาย แต่กลับส่งผลดีต่อกระบวนการสร้างเปลือกโดยเฉพาะชุดเสริมแร่ธาตุ เนื่องจากกุ้ง

สามารถนำเอา Na ไปใช้ในโครงสร้างเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้พบค่าสูงถึง 27.6 mg/g ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (18.5 mg/g) และชุดเสริม NaCl (17.6 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความเข้มข้นของ K ในโครงสร้างเปลือกกุ้งชุดเสริมแร่ธาตุสามารถควบคุมได้ปกติเช่นเดียวกับชุดควบคุมมีค่า 21.7 และ 22.2 mg/g ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดเสริม NaCl (14.4 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า การเสริม NaCl น่าจะไปมีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง ส่งผลให้กุ้งมีการสะสม K ในโครงสร้างเปลือกต่ำลง และเป็นไปได้ว่า การลดลงของ K จะเป็นการปรับอัตราส่วนของ Na:K ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วนส่งผลดีต่อกระบวนการสร้างเปลือก เห็นได้ชัดจากงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า กุ้งจะพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ Na และ K ในพลาสมาให้คงที่ในช่วงความเค็ม 20-25 ppt และมีระดับเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มน้ำสูงขึ้น (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ขณะที่ Na และ K ในตับเมื่อความเค็มสูงกว่า 20 ppt กุ้งจะลดระดับลงและรักษาคงที่ตลอดช่วงความเค็ม 30-50 ppt ส่วนในเปลือกมีระดับคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 5-45 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็ม 25 ppt ซึ่งความเข้มข้นของ Na และ K ในพลาสมามีค่า 13,087 และ 378 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับ K ในตับมีค่า 10.4 mg/g ขณะที่ Na ในตับมีค่าสูงกว่า (6.4 mg/g) ส่วน K และ Na ในเปลือกมีค่า 13.7 และ 19.5 mg/g ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้

ปริมาณความเข้มข้นของ Cl พบว่า ในพลาสมา ตับ และเปลือก ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุไม่มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง และกุ้งสามารถสร้างสภาวะสมดุลได้ดีภายในระบบร่างกายถึงแม้จะมีการเสริมแร่ธาตุหลายชนิดหรือ NaCl เพียงชนิดเดียว ขณะที่งานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกันพบว่า ระดับความเข้มข้นของ Cl ในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเค็มน้ำเพิ่มสูงขึ้น (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ส่วนในตับและเปลือกมีระดับให้คงในช่วงความเค็ม 5-40 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 25 ppt พบว่า Cl ในพลาสมามีค่า 9,246 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับโครงสร้างเปลือกมีค่า 39.3 mg/g ขณะที่ในตับมีค่า 0.6 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้

แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และฟอสฟอรัส (P)

ปริมาณความเข้มข้นของ Ca และ Mg ในพลาสมาพบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่ในตับมีค่าไม่แตกต่างเช่นกัน แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุไม่ไปรบกวนสภาวะสมดุลไอออนภายในร่างกายและระบบควบคุมภายในตับ สอดคล้องกับงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า กุ้งจะพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ Ca ในพลาสมาให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 5-50 ppt ส่วน Mg กุ้งจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามความเค็มน้ำจากความเค็ม 15 ppt เป็นต้นไป (สว่างพงษ์

สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) และ Ca ในตับเมื่อความเค็มสูงกว่า 15 ppt จะมีระดับลดลงและคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 25 pptเป็นต้นไป ขณะที่ Mg จะมีระดับคงที่ตลอดช่วงความเค็ม 5-50 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และมีค่าใกล้เคียงกับกุ้งชนิดเดียวกันที่เลี้ยงที่ความเค็ม 25 ppt พบว่า ความเข้มข้นของ Ca ในพลาสมามีค่า 676 mg/L ยกเว้น Mg ที่มีค่า 96 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้ เช่นเดียวกับ Ca ในตับมีค่า 3.7 mg/g ขณะที่ Mg ในตับมีค่า 1.5 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552)ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ และสอดคล้องกับงานวิจัยในกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) พบว่า กุ้งพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ Ca ในระบบเลือดให้มีค่าคงที่ในช่วง 520-640 mg/L (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2547ก)

ในโครงสร้างเปลือกของกุ้งในชุดเสริมแร่ธาตุ พบว่า Mg มีค่า 25.1 mg/g แสดงให้เห็นว่า กุ้งสามารถนำ Mg ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (16.6 mg/g) และชุดเสริม NaCl (15.3 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความเข้มข้นของ Ca กุ้งยังคงรักษาระดับได้ปกติ โดยในชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุ มีค่าเท่ากับ 126.5 และ 134.4 mg/g ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดเสริม NaCl (86.6 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า การเสริม NaCl น่าจะไปมีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง ทำให้กุ้งไม่สามารถนำเอา Ca ไปใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้มีการสะสม Ca ต่ำลง สอดคล้องกับงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า กุ้งพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ Ca และ Mg ในโครงสร้างเปลือกมีระดับคงที่ตลอดช่วงความเค็ม 5-50 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงในความเค็ม 25 ppt พบว่า Ca ในเปลือกมีค่า 129.3 mg/g ขณะที่ Mg มีค่า 11.6 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้

ปริมาณความเข้มข้นของ P ในพลาสมา ตับ และเปลือกพบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นในชุดที่การเสริม NaCl อาจไปรบกวนระบบควบคุมภายในตับ ทำให้ P (3.3 mg/g) มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 4.4 และ 4.6 mg/g ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นไปได้ว่า การเสริม NaCl มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ P ในตับทำให้กุ้งมีการสะสม P ต่ำลง ในขณะที่ชุดเสริมแร่ธาตุส่งผลดีค่อการรักษาระดับได้ตามปกติ หมายความว่าการเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วนไม่มีผลกระทบต่อสรีระเคมีของกุ้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของในกุ้งชนิดเดียวกัน พบว่า กุ้งจะพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของ P ในพลาสมาให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 5-50 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร และ บุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) และในตับจะมีระดับคงที่ตลอดในช่วงความเค็ม 10-30 ppt และเพิ่มระดับสูงขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่เปลือกมีค่าคงที่ในช่วง 10-20 ppt (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) และมีค่าใกล้เคียงกับกุ้งชนิดเดียวกันที่เลี้ยงที่ความเค็ม 25 ppt พบว่า ความเข้มข้นของ P ในพลาสมามีค่า 164 mg/L (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) ขณะที่ในตับมีค่าต่ำกว่าและเปลือก (4.6 และ 17 mg/g ตามลำดับ) (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) มีค่าสูงกว่าการทดลองในครั้งนี้ และงานวิจัยในกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) พบว่า กุ้ง

รักษาความเข้มข้นของ P ในพลาสมาให้อยู่ในช่วง 155-186 mg/L (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2547ก)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ Na:K, Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Cl:Na และ Cl:K ในพลาสมาและตับของกุ้งทั้ง 3 ชุดการทดลองส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น Ca:P ในตับชุดเสริม NaCl มีค่าเท่ากับ 2:1 ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (1.4:1) และชุดเสริมแร่ธาตุ (1.1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ เนื่องจากการเสริม NaCl ส่งผลให้กุ้งมีประสิทธิภาพการใช้ P ในตับลดลง ทำให้อัตราส่วนของ Ca:P มีค่าต่ำลงเช่นกัน แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วนและเฉพาะ NaCl ไม่มีผลกระทบสภาวะสมดุลในระบบเลือดและตับ แต่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาวะนั้น ๆ และรายงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกันที่ความเค็ม 25 ppt พบว่า อัตราส่วนของ Cl:Na ในพลาสมามีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้ ยกเว้น Mg:Ca, Na:K, Cl:K, Na:Mg และ Ca:P โดยมีค่า 0.1:1, 120.5:1, 25.2:1, 20.1:1 และ 4.1:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับงานวิจัยในกุ้งชนิดเดียวกันที่ความเค็ม 25 ppt พบว่า อัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Na:K และ Cl:Na ในพลามสามีค่าแตกต่างกับการทดลองในครั้งนี้ โดยมีค่า 0.3:1, 36.7:1, 25.7:1 และ 1.2:1 ตามลำดับ ยกเว้น Cl:K ที่มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้ (Cheng et al., 2002) ส่วนในตับพบว่า อัตราส่วนของ Mg:Ca มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ ขณะที่ Na:Mg, Na:K, Cl:Na, Cl:K และ Ca:P โดยมีค่า 4.2:1, 0.6:1, 0.09:1, 0.06:1 และ 0.5:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งมีค่าแตกต่างกับการทดลองในครั้งนี้

ส่วนโครงสร้างเปลือกพบว่า อัตราส่วนของ Mg:Ca และ Na:Mg ของกุ้งทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ขณะที่ Cl:Na ในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าเท่ากับ 1.2:1 ซึ่งต่ำกว่าชุดควบคุม (1.8:1) และชุดเสริม NaCl (1.9:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอัตราส่วนของ Na:K ในชุดควบคุม (0.9:1) มีค่าต่ำกว่าชุดเสริม NaCl (1.2:1) และชุดเสริมแร่ธาตุ (1.2:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการเสริม NaCl จึงทำให้กุ้งมีการสะสม Na และ K ต่ำลง และยังส่งผลต่ออัตราส่วนของ Cl:K ในชุดเสริม NaCl (2.2:1) มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (1.6:1) และชุดเสริมแร่ธาตุ (1.5:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่อัตราส่วนของ Ca:P ในชุดเสริม NaCl (5.9:1) มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม (8.0:1) และชุดเสริมแร่ธาตุ (8.7:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เกิดจากการที่กุ้งสะสม Ca ในเปลือกต่ำทำให้อัตราส่วนมีค่าต่ำเช่นกัน แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วนไม่มีผลกระทบต่อการควบคุมอัตราส่วนของแร่ธาตุ และกุ้งสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแร่ธาตุให้มีความเหมาะสมกับความต้องการได้ และงานวิจัยในกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 25 ppt พบว่า อัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Na:K, Cl:Na, Cl:K และ Ca:P ในเปลือกมีค่าแตกต่างไปจากการทดลองในครั้งนี้ โดยมีค่า 0.09:1, 1.7:1, 1.4:1, 2.0:1, 2.9:1 และ 21.4:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552)

ผลของการเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนที่ความเค็ม 30 ppt

โซเดียม (Na) คลอไรด์ (Cl) และ โพแทสเซียม (K)

ปริมาณความเข้มข้นของ Na, Cl และ K ในพลาสมา ตับ และเปลือก พบว่าชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุหรือไม่เสริมแร่ธาตุไม่มีผลกระทบต่อสภาวะสมดุลของ Na, และ K ทั้ง 3 อวัยวะ ขณะที่ Cl มีการสะสมในเปลือกเพิ่มสูงขึ้นในชุดเสริมแร่ธาตุ (31.1 mg/g) ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (18.2 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่า การเสริมแร่ธาตุส่งผลดีต่อกระบวนการสร้างเปลือก เพราะกุ้งสามารถดึงเอา Cl ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และอาจจะส่งผลให้กุ้งสามารถปรับอัตราส่วนบางชนิดให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งชนิดเดียวกัน ที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 ppt พบว่า Na, Cl และ K ในพลาสมามีค่า 12,161, 9,766 และ 514 mg/L ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับ Na ในตับมีค่า 6.7 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ขณะที่ในตับมีความเข้มข้นของ Cl และ K (5.8 และ 5.8 mg/g ตามลำดับ) มีค่าต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้ ส่วนในโครงสร้างเปลือกพบว่า Na และ Cl มีค่าสูงกว่า (25.7 และ 36.2 mg/g ตามลำดับ) และ K มีค่า 12.6 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งต่ำกว่าที่พบในการทดลองครั้งนี้

แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และฟอสฟอรัส (P)

ปริมาณความเข้มข้นของ Ca, Mg และ P ในพลาสมา ตับ และเปลือก พบว่า ชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า การเสริมแร่ธาตุหรือไม่เสริมแร่ธาตุไม่มีผลกระทบต่อสภาวะสมดุลของ Ca, Mg และ P ทั้ง 3 อวัยวะ ยกเว้น Ca และ Mg มีการสะสมในเปลือกสูงขึ้นโดยชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าเท่ากับ 91.8 และ 20.2 mg/g ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (60.3 และ 12.2 mg/g ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั้นหมายความว่า การเสริมแร่ธาตุส่งผลดีต่อกระบวนการสร้างเปลือก เนื่องจากกุ้งสามารถดึงเอา Ca และ Mg ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจจะส่งผลทำให้อัตราส่วนของแร่ธาตุบางชนิดมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น เพราะ Ca เป็น แร่ธาตุหลักที่สำคัญในการสร้างเปลือกของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียน (Pratoomchat et al., 2002b) ขณะที่ Mg เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างเปลือกตลอดวงจรการลอกคราบ (Pratoomchat et al., 2002b) และยังมีความจำเป็นต่อกุ้งทะเลในแง่เป็นตัวช่วยปรับสมดุลไอออนภายในร่างกาย (Mentel & Farmer, 1983) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในกุ้งชนิดเดียวกันที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 ppt พบว่า Na, Cl และ K ในพลาสมามีค่า 12,161, 9,766 และ 514 mg/L ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) เช่นเดียวกับ Na ในตับมีค่าเท่ากับ 6.7 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ขณะที่ Cl และ K ในตับมีค่าต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้ (5.8 และ 5.8 mg/g ตามลำดับ) ส่วนโครงสร้างเปลือกพบว่า Na

และ Cl มีค่าสูงกว่า (25.7 และ 36.2 mg/g ตามลำดับ) และ K มีค่า 12.6 mg/g (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Cl:K, Na:K และ Cl:Na ในพลาสมา ตับ และเปลือกของกุ้งชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุ พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นอัตราส่วนของ Cl:K, Ca:P และ Cl:Na ในเปลือกที่ชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.6:1, 3.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าชุดเสริมแร่ธาตุ (1:1, 4.5:1 และ 1.6:1 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติขณะที่อัตราส่วนของ Na:Mg ที่ชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 1.6:1 ซึ่งสูงกว่าชุดเสริมแร่ธาตุ (1:1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องมาจากการเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วนทำให้กุ้งยอมรับ Cl, Mg และ Ca ได้สูงขึ้น จึงส่งผลให้อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุไม่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมอัตราส่วนในพลาสมาและตับ แต่กลับส่งผลดีต่ออัตราส่วนในโครงสร้างเปลือก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในพลาสมากุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 ppt ยกเว้นอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg และ Ca:P มีค่า 0.2:1, 79.2:1 และ 4.0:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2551) และในตับให้ผลแตกต่างกันกับการทดลองในครั้งนี้ โดยอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Na:K, Cl:Na, Cl:K, และ Ca:P มีค่า 1.3:1, 2.6:1, 1.2:1, 0.08:1, 0.09:1 และ 0.2:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552) เช่นเดียวกับในโครงสร้างเปลือกอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Na:K, Cl:Na, Cl:K และ Ca:P มีค่า 0.08:1, 2.4:1, 2.0:1, 1.4:1, 2.9:1 และ 26.4:1 ตามลำดับ (สว่างพงษ์ สมมาตร, 2552)

สรุปผลการวิจัย

1. การเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วน จำเป็นต่อการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ที่ความเค็มต่ำกว่า 10 ppt ขณะที่ความเค็มสูงน่าจะมีการเสริมแร่ธาตุบางชนิดลงไปเพื่อให้มีอัตราส่วนของแร่ธาตุที่เหมาะสมกับความต้องการทางสรีระเคมีของกุ้งขาว (*L. vannamei*)

2. การเสริมแร่ธาตุโดยคำนึงถึงอัตราส่วน ในระบบการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในน้ำความเค็มต่ำมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ข้อเสนอแนะ

1. การเสริมแร่ธาตุในระบบน้ำเพื่อใช้เลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ควรพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมกับความต้องการของกุ้ง เพื่อกุ้งได้นำแร่ธาตุไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การเสริมแร่ธาตุลงในน้ำนั้น มีผลทำให้ความเค็มน้ำสูงขึ้นได้ พื้นที่เลี้ยงกุ้งที่มีเขตติดต่อจึงควรต้องระมัดระวังผลกระทบของความเค็มต่อระบบการเกษตรอื่น ๆ และควรต้องมีบ่อเก็บกักน้ำภายในฟาร์ม