เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

องค์ประกอบของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ในเลือดกุ้งทะเล

กุ้งทะเลมีโครงสร้างแข็งห่อหุ้มอยู่ภายนอกร่างกาย และมีเจริญเติบโตโดยการลอกคราบ ซึ่งของเสียและไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมามักจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย และยังมีความสำคัญกับคุณสมบัติของเลือด โดยองค์ประกอบของเลือดมีทั้งส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน (บุญรัตน์ และคณะ, 2546)

ก. สารอนินทรีย์ ได้แก่ Na, K, Ca, Mg และ Cl เมื่อพิจารณาที่ปริมาณความเข้มข้น พบว่า Na, Cl และ Mg ของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในทะเลมีปริมาณมากกว่าสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำจืด ขณะที่ Ca ในเลือดของพวกที่อยู่ในน้ำจืดจะมากกว่าสัตว์ที่อยู่ในทะเล

ก.1 โซเดียม

นับว่าเป็นแร่ธาตุที่มีความเข้มข้นสูงมากชนิดหนึ่งในเลือดของครัสเตเชียน แต่จะมีค่าต่ำกว่าน้ำภายนอกเล็กน้อย โดยทำหน้าที่ในการรักษาสมดุลออสโมติก (Osmotic balance) ควบคู่ไปกับ Cl ซึ่งมี K, Mg และ Ca เป็นตัวช่วยปรับ โดยจะรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างในร่างกายให้สมดุล แล้วยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท การควบคุมสมดุลของ Na ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์จะมีความสัมพันธ์กับการทำงานของเอนไซม์Na^+/K^+ATPase และ V- ATPase ภายในเหงือก ซึ่งการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้จะเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่อเกิดการเคลื่อนที่เข้าออกของ Na ในกุ้งน้ำจืด *Cherax destructor* (Zare & Greenway, 1998)

ก.2 คลอไรด์

พบในของเหลวภายในและภายนอกเซลล์สัตว์ สามารถสะสมได้มากกว่า Na และ K มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับ Na เป็นธาตุที่มีการเคลื่อนย้ายเร็วเมื่อน้ำภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง ช่วยรักษาความดันออสโมติก และยังควบคุมการเข้าออกของสารและน้ำภายนอกเซลล์ Cl เกี่ยวข้องกับการเกิดสมดุลของแคทไอออน (cation) และแอนไอออน (anion) โดยอยู่รวมกับ Na ถ้าอยู่ในสภาพสมดุลการแลกเปลี่ยนของ Mg และ S จะเกิดได้ดี ปริมาณของ Cl ในเลือดของครัสเตเชียนจะเท่ากับน้ำทะเลหรือใกล้เคียงกัน จึงไม่มีปัญหาการปรับสมดุลเหมือนอิออนตัวอื่น ๆ คลอไรด์ยังมีส่วนกระตุ้นน้ำย่อยอะไมเลส (amylase) ให้ทำงานดีขึ้น รักษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำย่อยและเป็นส่วนประกอบในน้ำย่อยด้วย (บุญรัตน์ และคณะ, 2546)

ก.3 แคลเซียม

เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างภายนอกของพวกครัสเตเชียน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ตามปกติแล้วจะมีสะสมไว้ในตับโดยอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมฟอสเฟต ($CaPO_4$) อาจจะมีการสะสม Ca ในเลือดและที่ส่วนอื่นของร่างกาย โดยเชื่อมกับโปรตีน สัตว์ต้องควบคุมไม่ให้ระดับของ Ca ในเลือดสูงเกินไป จึงต้องทำการขับออกนอกร่างกาย และนำไปสร้างเปลือกหรือเก็บสะสมไว้ในอวัยวะต่าง ๆ (บุญรัตน์ และคณะ, 2546) Ca จะมีการเคลื่อนที่เข้าสู่ร่างกายของครัสเตเชียนในระยะหลังการลอกคราบ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระยะคราบแข็ง พบว่า มีการเคลื่อนที่ออกไปสู่น้ำภายนอกในระยะก่อนการลอกคราบ (Zanotto & Wheatly, 2003) เช่นเดียวกับในกุ้ง *P. indicus* ความเข้มข้น Ca ในเนื้อเยื่อเปลือกมีการสะสมสูงที่ระยะก่อนการลอกคราบและระยะคราบแข็ง และจะลดการสะสมที่ระยะหลังการลอกคราบ (Vijayan & Diwan, 1996)

ก.4 โพแทสเซียม

พบอยู่ในเซลล์ของร่างกายและเลือด โดยความเข้มข้นของ K ในเลือดของครัสเตเซียนอาจสูงหรือต่ำกว่าน้ำทะเลภายนอก (Burton, 1967, 1973, 1975 อ้างโดย Burton, 1995) ซึ่งถ้ามี K ในร่างกายมากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหา จึงต้องขับออกทางต่อมแอนเทนนัล (antennal gland)

ก.5 แมกนีเซียม

ในครัสเตเซียนทั่วไปที่อาศัยอยู่ในน้ำทะเลจะมีความเข้มข้นของ Mg ภายในร่างกายต่ำกว่าในน้ำทะเลภายนอก Mg อยู่ในโครงสร้างของร่างกายประมาณ 70 % ส่วนอีก 30 % พบในเนื้อเยื่อและเลือด (Burton, 1967, 1973, 1975 อ้างโดย Burton , 1995) ในกุ้ง *P. indicus* การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ Mg ในเนื้อเยื่อมีแนวโน้มคล้ายกับ Ca สันนิษฐานว่า Mg ใช้แทนที่ Ca ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่สำคัญในกระบวนการสร้างเปลือกของครัสเตเซียน แม้ว่า ระดับ Mg ในเปลือกของ เดคาพอดในระยะคราบแข็งมีระดับต่ำกว่า 0.55 % (Vijayan & Diwan, 1996) ในขณะที่กุ้ง *P. californiensis* มีระดับ Mg ในเปลือกประมาณ 1.25 % (Huner et al., 1979 อ้างโดย Vijayan & Diwan, 1996)

ก.6 ฟอสฟอรัส

มีความสำคัญต่อการสร้างเปลือกร่วมกับ Ca โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงที่กุ้งมีการสร้างเปลือกใหม่ P ยังเป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิก และสารประกอบฟอสโฟไลปิดที่สำคัญในร่างกาย เช่น โคเอนไซม์ NADP และ ATP เป็นต้น ซึ่งอยู่ในบริเวณสมองและระบบประสาท (บุญรัตน์ และคณะ, 2546)

ข. สารอินทรีย์ คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ความเข้มข้นในเลือดของสัตว์มีความแตกต่างกัน

ข.1 คาร์โบไฮเดรต

สารอินทรีย์ในกลุ่มกลูโคสทำหน้าที่ให้พลังงาน สร้างเนื้อเยื่อ และสร้างเป็นไคตินเพื่อใช้เป็นโครงสร้างเปลือก ระดับของกลูโคสมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวงจรการลอกคราบและตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายนอก ในกระบวนการลอกคราบของครัสเตเซียน จะมีการลดระดับของกลูโคสในเลือดลงอย่างมากในระยะที่คราบเริ่มแข็ง เนื่องจากเกิดการสังเคราะห์ไคตินทำให้ระดับกลูโคสลดลง เพราะน้ำตาลในเลือดเป็นองค์ประกอบหลักในการสร้างไคตินในระยะการลอกคราบจึงต้องใช้พลังงานค่อนข้างมาก ดังนั้น ขบวนการเมตาบอลิซึมในเลือดจึงมีความสัมพันธ์กับการลอกคราบเป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่ากลูโคสในเลือดจะมาจากการขนส่งระหว่างตับอ่อน แต่ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในเลือดมีความสำคัญมากกว่าในตับ พบว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับกลูโคสในตับจะทำให้ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดเปลี่ยนแปลง (Pratoomchat et al., 2002) ปัจจัยอื่น ๆ นอกจากการเปลี่ยนแปลงในระยะลอกคราบที่สามารถทำให้ระดับกลูโคสในเลือดหรือในตับลดลงได้ เช่น ความเครียด การอดอาหาร ฤดูกาล ความเค็มน้ำ อุณหภูมิ วงจรการสืบพันธุ์ และในปูม้า (*P. pelagicus*) ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตมีค่าสูงที่สุดที่ความเค็ม 15 และ 20 ppt และมีค่าลดลงความเค็ม 7-10 ppt และความเค็ม 25-40 ppt (บุญรัตน์ และคณะ, 2547ข)

ข.2 ไขมัน

ไขมันพบน้อยมาก ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฟอสโฟไลปิด (phospholipids) และไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) มีความสำคัญต่อการประหยัดการใช้พลังงาน ปริมาณของไขมันมีความสัมพันธ์กับขบวนการสันดาป (catabolism) ของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวงจรการลอกคราบและตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายนอก ปกติ จะมีการเก็บสะสมไขมันไว้ใน midgut gland ในช่วง

ก่อนการลอกคราบ และจะขับออกมาหลังจากกุ้งมีการลอกคราบเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและโครงสร้างเปลือก (บุญรัตน์ และคณะ, 2547ข)

ข.3 โปรตีน

ปริมาณของโปรตีนในน้ำเลือด (plasma) ของครัสเตเชียนมีปริมาณ 4% ซึ่งนับว่าเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีปริมาณสูงที่สุด เลือดประกอบด้วย ฮีโมไซยานิน (hemocyanin) ซึ่งพบมากที่สุดประมาณ 80-95 % ของโปรตีนทั้งหมดและไฟบริโนเจน (fibrinogen) โปรตีนมีความสำคัญต่อการจัดระเบียบโครงสร้างร่างกายเพื่อการเจริญเติบโต การพัฒนาการ ชีวพลังงาน และสรีระวิทยา เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก เอนไซม์ โคเอนไซม์ โครงสร้างพันธุกรรม รวมถึงการควบคุมเมตาบอลิซึมและการถ่ายทอดพลังงาน

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะก่อนการลอกคราบ ในปูทะเล (*Scylla* sp.) พบว่า ความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมามีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในระยะการลอกคราบตอนปลาย (late premolt) ซึ่งเท่ากับ 97 mg/ml และมีค่าต่ำสุดที่ 23 mg/ml ในระยะหลังลอกคราบ (post molt) ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องมาจากในระยะก่อนการลอกคราบ ปูมีการดูดกลับสารอินทรีย์ต่าง ๆ จากโครงสร้างเก่าทำให้เลือดมีความเข้มข้นของโปรตีนสูงขึ้น และในระยะลอกคราบปูมีการดูดน้ำเข้าสู่ร่างกายทำให้ระดับความเข้มข้นของโปรตีนในเลือดลดลง นอกจากนี้ ยังเนื่องมาจากการนำโปรตีนไปใช้ในการสร้างโครงสร้างใหม่ด้วย (Pratoomchat et al., 2002) ระดับความเข้มข้นของโปรตีนในเลือดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพความเค็มในธรรมชาติ การศึกษา ในปูทะเลที่ความเค็มน้ำที่แตกต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมาจะมีระดับต่ำสุดที่ความเค็ม 5 ppt และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นที่ความเค็ม 10 และ 15 ppt ตามลำดับ จากนั้น มีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 20 ppt (บุญรัตน์ และคณะ, 2546) และเช่นเดียวกันกับในปูม้า ความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสมามีค่าต่ำที่ความเค็ม 7 ppt ก่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเค็ม 10-15 ppt แล้วมีค่าลดลง และคงที่ในช่วงที่ความเค็ม 20-40 ppt (บุญรัตน์ และคณะ, 2547ข)

ผลของความเค็มน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแร่ธาตุในเลือดกุ้ง

ก. โซเดียม คลอไรด์ และโพแทสเซียม

ความเค็มน้ำภายนอกมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Na, Cl และ K ในพลาสมา โดยความเค็ม 5 ppt ปริมาณของธาตุ Na, Cl และ K มีความเข้มข้นต่ำที่สุด และมีความเข้นข้นสูงเมื่อความเค็มน้ำเพิ่มสูงขึ้นโดยมีความเข้มข้นสูงสุดที่ความเค็ม 25 ppt ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของธาตุ Na มีค่าที่มากกว่าธาตุอื่น ๆ โดยที่ปริมาณรวมของธาตุทั้ง 3 มีมากกว่า 90 % ของธาตุทั้งหมดในเลือด จึงจัดได้ว่าแร่ธาตุเหล่านี้เป็นตัวช่วยในการรักษาสมดุลออสโมติกของเลือด (osmoregulator) คือ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ Na และ Cl ก็จะส่งผลให้สมดุลไอออนของเลือดเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Prossner, 1973; Castille & Lawrence, 1981; Mantel & Farmer, 1983 อ้างโดย Lignot et al., 2000) ดังนั้นปริมาณของแร่ธาตุดังกล่าวจึงเพิ่มขึ้นตามความเค็มน้ำซึ่งสัมพันธ์กับค่าออสโมลาลิตี้

เมื่อความเค็มน้ำต่ำเลือดสัตว์จะมีปริมาณของ Na, Cl และ K ต่ำด้วย เพราะน้ำภายนอกที่มีความเจือจางจะแพร่เข้าสู่ร่างกาย และแร่ธาตุต่าง ๆ ในร่างกายก็จะแพร่ออกสู่ภายนอก เพื่อที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุภายในร่างกายให้อยู่ในระดับที่มีความสมดุล สัตว์จึงต้องปรับตัวให้อยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของแร่ธาตุในร่างกายมากกว่าภายนอก จึงต้องมีการดึงพลังงานมาใช้ในการรักษาความเข้มข้นของแร่ธาตุต่าง ๆ โดยกลไกในการขับน้ำออกจากร่ายกาย ขณะเดียวกัน ก็จะดึงแร่ธาตุไว้ใน

ร่างกาย และลดการสูญเสียแร่ธาตุออกจากร่างกายโดยการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่านให้เล็กลง และเพิ่มการสะสมปัสสาวะ ปรับระดับแรงดันน้ำ (Hydrostatic pressure) ภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ (Mantel & Farmer, 1983)

ถึงแม้ว่าสัตว์จะมีกลไกลต่าง ๆ ในการปรับสมดุลแร่ธาตุดังกล่าว แต่ภายใต้สภาวะความเค็มน้ำต่ำมาก ๆ ทำให้ต้องสูญเสียแร่ธาตุต่าง ๆ ภายในร่างกายออกสู่สิ่งแวดล้อม และต้องรับน้ำภายนอกจากการแพร่เข้ามาตลอดเวลา จึงเป็นเหตุให้มีปริมาณของแร่ธาตุต่าง ๆ ในเลือดต่ำกว่าที่ความเค็มน้ำที่สูง ซึ่งจะทำให้สัตว์เกิดความเครียด ร่างกายอ่อนแอ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงและอาจจะทำให้อัตราการตายเพิ่มสูงขึ้นได้ (Kirkpatick & Jones, 1985; Gelin et al., 2001 อ้างโดย บุญรัตน์ และคณะ, 2546)

ปูที่สามารถอาศัยอยู่ได้ในความเค็มช่วงกว้าง (euryhaline crab) Na และ Cl เป็นไอออนหลักที่มีผลต่อค่าออสโมลาริตี้ของเลือด ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของไอออน 2 ตัวนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในปูจำพวกนี้ (Towle, 1993, 1997 อ้างโดย Mananes et al., 2002) โดยที่ความเค็มน้ำต่ำ ปูจะแสดงสภาวะhyperegulation คือ จะมีการดูดซึม Na และ Cl จากน้ำภายนอกผ่านทางเหงือกเข้าสู่ร่างกาย เพื่อทดแทนไอออนส่วนที่มีการแพร่ออกและควบคุมความเข้มข้นของเลือด กระบวนการนี้มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ Na^+-K^+ ATPase และงานวิจัยของ Mananes et al. (2002) พบว่า การทำงานของเอนไซม์ Na^+-K^+ ATPase ในเหงือกปู *Cyrtograpsus angulatus* มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อปูอยู่ในสภาพที่น้ำภายนอกมีความเค็มต่ำกว่าปกติ แต่สำหรับปูบางชนิดเช่น ปู blue crab (*Callinectes sapidus*) มีความสามารถในการควบคุมสมดุลแร่ธาตุดีมาก (osmoregulator) โดยเมื่อทำการทดลองในสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างรวดเร็ว (จาก 5 ppt ไปสู่ 35 ppt) และสภาพที่มีการปรับสภาพจากความเค็ม 5 ppt ไปสู่ 35 ppt อย่างช้า ๆ พบว่า การทำงานของเอนไซม์ arginine kinase และความเข้มข้นของ arginine phosphate และ inorganic phosphate ไม่มีความแตกต่างกัน (Kinsey & Lee, 2003)

ในส่วนปริมาณของ Na, K และ Cl ในพลาสมาปูทะเล พบว่า มีความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ความเค็ม 5 ppt และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามความเค็มน้ำที่สูงขึ้น เนื่องจากแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้มีความเข้มข้นสูงมากและมีการเคลื่อนย้ายระหว่างอวัยวะต่าง ๆ และระหว่างภายในกับภายนอกร่างกายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงนับว่ามีบทบาทต่อระบบสมดุลแร่ธาตุในเลือดปูทะเล นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Na และ Cl ปริมาณของแร่ธาตุดังกล่าวจึงเพิ่มขึ้นตามความเค็มน้ำสัมพันธ์กับค่าออสโมลาลิตี้ (บุญรัตน์ และคณะ, 2546) ซึ่งสอดคล้องในพลาสมาของปูม้าโดยปริมาณของธาตุ Na, K, Cl, Mg และ Ca มีความเข้มข้นต่ำสุดที่ความเค็ม 7 ppt และจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามความเค็มที่เพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 40 ppt (บุญรัตน์ และคณะ, 2547)

ความเค็มน้ำยังมีผลต่อออสโมลาลิตี้ของเลือดปู *Scylla* sp. โดยค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น (5-40 ppt) ซึ่งเป็นการควบคุมระบบสมดุลแร่ธาตุแบบ moderate hyper and hyporegulator โดยอยู่ในสภาวะ isosmotic ที่ความเค็ม 30 ppt (บุญรัตน์ ประทุมชาติ และคณะ, 2546) เช่นเดียวกับปูม้าที่เลี้ยงในความเค็ม 7-32 ppt พบว่า ค่าออสโมลาลิตี้ต่ำสุดและความเค็ม 7-32 ppt ปูแสดงสภาวะ hyperregulation โดยจะอยู่ในสภาวะ isosmotic ความเค็มที่ 33 ppt และความเค็ม 40 ppt ค่าออสโมลาลิตี้สูงสุดความเค็ม 34-40 ppt ปูแสดงถึงสภาวะที่เป็น hyporegulation (บุญรัตน์ และคณะ, 2547ข)

ค่าออสโมลาลิตี้ (osmolality) ในพลาสมาของกุ้งขาวมีค่าปกติ เท่ากับ 573 mosm/kg ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Castille and Lawrence (1986) อ้างโดย Sowers et al. (2006) และพบว่า

จะมีค่าลดลงเมื่อความเค็มน้ำลดลง เหมือนกับกุ้งชนิดอื่น ๆ (McFarland & Lee, 1963; Castille & Lawrence, 1981; Ferraris et al., 1986 อ้างโดย Sowers et al., 2006) มีปริมาณความเข้มข้นของ K ที่ระดับ 10.5 mmol/l เหมือนกับ *Farfantepenaeus duorarum* (Bursey & Lane, 1971 อ้างโดย Sowers et al., 2006) และ *L. setiferus* (McFarland & Lee, 1963 อ้างโดย Sowers et al., 2006) มีปริมาณของ Na ที่ระดับ 272.2 mmol/l ซึ่งเหมือนกับกุ้งชนิดอื่น ๆ (McFarland & Lee, 1963; Bursey & Lane, 1971; Castille & Lawrence, 1981 อ้างโดย Sowers et al., 2006) และปริมาณของ Ca ที่พบในพลาสมามี 10.2 mmol/l เช่นเดียวกับกุ้งชนิดอื่น ๆ ในความเค็มต่ำ (McFarland & Lee, 1963; Ferraris et al., 1986 อ้างโดย Sowers et al., 2006) โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไปตามความเค็มที่ลดลงเช่นเดียวกันกับ *L. setiferus* และ *L. aztecus* (McFarland & Lee, 1963 อ้างโดย Sowers et al., 2006)

ข. แคลเซียม

โดยทั่วไป ครัสเตเซียนเมื่อย้ายจากน้ำความเค็มสูงไปสู่น้ำความเค็มต่ำจะทำให้ค่า pH ของเลือดมีค่าสูงขึ้น (metabolic alkalosis) เนื่องจาก เมื่อความเค็มน้ำต่ำค่า pH จะเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้าม โดยจะมีค่าต่ำลง คือ มีสภาพเป็นกรดมากขึ้น และคาดว่าน่าจะมีผลทำให้เลือดกุ้งมีสภาพเป็นกรดด้วย สภาพที่เป็นกรดนี้จะส่งผลต่อการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากเปลือกเก่า ออกมาในรูปของแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) และไบคาร์บอเนต (HCO^-_3) จึงทำให้มีปริมาณของ Ca^{2+} และ HCO^-_3 ในเลือดสูงขึ้น (Machado et al., 1988 อ้างโดย บุญรัตน์ และคณะ, 2546) ไม่เพียงแต่ Ca และไบคาร์บอเนต สารอินทรีย์อื่น ๆ ก็มีการละลายเข้าสู่กระแสเลือดด้วย ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) เพราะสัตว์จะต้องทำการปรับสภาพความสมดุลของแร่ธาตุอย่างมากเมื่อความเค็มน้ำภายนอกมีระดับต่ำหรือสูงเกินไป (osmotic stress) จึงส่งผลให้มีกิจกรรมการใช้พลังงาน และมีการขับถ่ายของเสียซึ่งอยู่ในรูปของแอมโมเนียมากขึ้น ซึ่งพบในครัสเตเซียนหลายชนิด (Mangum et al., 1976; Regnault, 1984; Rosas et al., 1999 อ้างโดย บุญรัตน์ และคณะ, 2546) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ deamination ของกรดอมิโนอิสระภายในเซลล์เพื่อไปใช้รักษาสมดุลปริมาณของเซลล์ ทำให้ระดับของแอมโมเนียในเลือดสูงขึ้น

บุญรัตน์ และคณะ (2546) พบว่า ความเค็มมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไกลโคสอะมิโนไกลแคน ออสโมลาลิตี้ Na, Cl, K, Mg, Mn, Cu, S และ Ca ในพลาสมาของปูทะเล โดยพบว่า ระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นตามความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของธาตุในเลือดส่วนมากตามความเค็มนั้นส่งผลให้ปริมาณธาตุที่พบในเปลือกเพิ่มขึ้นอีกด้วย ยกเว้น Cu จากการทดลองพบว่า ระดับของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเลือดปูทะเล มีระดับลดน้อยลง เมื่อความเค็มน้ำภายนอกลดลง เนื่องจาก ปูมีการปรับสมดุลแร่ธาตุโดยรับน้ำภายนอกจากการแพร่เข้ามาอยู่ตลอดเวลา และสัตว์จะมีกลไกในการขับกรดอะมิโนออกนอกเซลล์หรือการสูญเสียจากเซลล์เข้ามาเก็บในเลือดอยู่ในรูปของโปรตีน หรือมีการสลายของสารอินทรีย์และอนินทรีย์จากเปลือกเก่าเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มระดับออสโมลาลิตี้ภายในเลือดที่เรียกว่า eolloid osmotic pressure อย่างไรก็ตาม ปูต้องมีการปรับตัวอย่างมากเพื่อรักษาระดับของความเข้มข้นของแร่ธาตุภายในร่างกายให้มีความสมดุลซึ่งต้องใช้พลังงาน จึงเป็นเหตุให้ปูมีปริมาณของสารต่าง ๆ รวมทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไกลโคสอะมิโนไกลแคนในเลือดต่ำกว่าปูที่เลี้ยงในความเค็มสูงขึ้นแต่ไม่เกิน 30 ppt เป็นที่ทราบแล้วว่า กลูโคสเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไกลโคสอะมิโนไกลแคน ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของกลูโคสหรือคาร์โบไฮเดรตจึงมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไกลโคสอะมิโนไกลแคนด้วย

Mg, Mn, Cu, S และ P ในเปลือก มีแนวโน้มว่ามีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเลี้ยงในความเค็มน้ำสูงขึ้น แต่ปริมาณของ Cu ในเปลือกไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีปริมาณที่ต่ำมากในเปลือก (บุญรัตน์ และคณะ, 2546) และในเปลือกปูม้า ปริมาณของธาตุ Na และ Cl มีค่าสูงขึ้นตามความเค็มที่สูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ความเค็มน้ำ 35 ppt และมีค่าลดลงที่ความเค็มน้ำ 40 ppt ขณะที่ปริมาณของ Ca และ Mg ในเปลือกปูม้า มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย โดยพบว่า จะมีการสะสม Mg ในเปลือกสูงสุดที่ความเค็ม 40 ppt ขณะที่ปริมาณของ Ca มีค่อนข้างคงที่ช่วงความเค็ม 15-40 ppt และมีค่าต่ำสุดที่เลี้ยงในความเค็ม 10 ppt แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสีย Ca จากเปลือกที่ความเค็มน้ำคงที่ (บุญรัตน์ และคณะ, 2547ข)

ความสำคัญของแร่ธาตุในการเลี้ยงกุ้ง

แร่ธาตุเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโครงสร้างเปลือก และเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม เช่น sulfer ในโปรตีน Zn ใน carboxypepidase (metalloprotein) รวมทั้ง เป็นองค์ประกอบ cofactor และ activators ในเอนไซม์ หลายชนิด เช่น alkaline phosphatase แร่ธาตุที่ละลายได้ดี (Ca, P, Na, K และ Cl) จะทำหน้าที่ในระบบ osmoregulation สมดุลแร่ธาตุระหว่างร่างกายสัตว์กับสิ่งแวดล้อม รวมทั้งบำรุงรักษาความสมดุลความเป็นกรดด่าง (acid-base balance) และความต่างศักย์ของเนื้อเยื่อ (membrane potential) ซึ่งในปัจจุบันยังคงมีงานวิจัยน้อยมากที่เกี่ยวกับความต้องการแร่ธาตุ (dietary mineral requirement) ของครัสเตเชียนที่อาศัยในทะเล (บุญรัตน์ และคณะ, 2547ก)

ก. แร่ธาตุหลัก (Macro Mineral)

ก.1 แคลเซียมและฟอสฟอรัส

โดยทั่วไปปลาและกุ้งสามารถดูดซึม Ca จากน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ (Desshimaru et al., 1978 อ้างโดย Davis & Lawrence, 1997) จึงไม่จำเป็นต้องเสริม Ca ในอาหารเลี้ยงกุ้งขาว (Davis et al., 1993 อ้างโดย Davis & Lawrence, 1997) แต่บางครั้งพบว่า สัตว์น้ำอาจมีการขาด Ca เมื่อนำไปเลี้ยงในน้ำที่มี Ca ต่ำ (Robinson et al., 1984, 1986, 1987 อ้างโดย Davis & Lawrence, 1997) ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีปริมาณ P ต่ำ การดูดซึม P ของสัตว์น้ำจากน้ำจืดหรือน้ำเค็มโดยทั่วไปยังไม่เพียงพอ ดังนั้น P ในอาหารสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญ พบว่า ครัสเตเชียนมีความต้องการ P ในอาหาร 1-2 % (Kitabayashi et al., 1971; Deshimaru & Yone, 1978; Kanasawa et al., 1984 อ้างโดย Davis & Lawrence, 1997) เนื่องจาก กุ้งจำเป็นต้องใช้ P ในการสร้างเปลือกตลอดวงจรการลอกคราบ จึงมีความต้องการ P สูง

Perry et al. (2001) พบว่า ชั้นที่มีการสะสม Ca ในโครงสร้างของเปลือกปู Blue crab (*Callinectes sapidus*) ส่วนมากมาจากน้ำภายนอก เป็นส่วนน้อยที่ได้จากการเก็บสะสมไว้ในตัวปู โดยเมื่อให้ปูลอกคราบในน้ำความเค็ม 12 ppt ที่มีการลดระดับ Ca (15 - 136 mg/l) จะมีผลให้อัตราการแข็งตัวของเปลือกช้าลง เมื่อความเข้มข้นของ Ca ในน้ำลดลง และเมื่อเปรียบเทียบการเลี้ยงปูที่น้ำความเค็ม 5, 12 และ 25 ppt ระหว่าง Ca ระดับปกติ (54, 139, 281 mg/l) และลดระดับ Ca ลง (40, 42, 43 mg/l) พบว่า ปูที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่มีการลดระดับ Ca จะมีระยะเวลาที่เปลือกนิ่มนานขึ้น เห็นได้ชัดเจนในปูที่ลอกคราบในน้ำความเค็ม 25 ppt ที่มีระดับ Ca ต่ำลง โดยปูจะมีระยะเวลาที่เปลือกนิ่มยาวนานกว่าที่ความเค็ม 5 และ 12 ppt ทั้งที่ Ca ระดับปกติและมีการลดระดับ Ca เนื่องจากความเข้มข้นของ Ca ในน้ำความเค็ม 25 ppt เมื่อลดระดับ Ca ลง (43 mg/l) มีความแตกต่างมากกับ Ca ระดับปกติ (281 mg/l) ปูจึงต้องมีการปรับตัวเพื่อรักษาระดับของ Ca ให้อยู่ในภาวะสมดุล ทำให้รบกวนกระบวนการแข็งตัวของเปลือก แสดงให้เห็นว่า Ca มีความสำคัญมากต่อการสร้างเปลือกของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียน

การใช้ประโยชน์จาก Ca และ P จะถูกยับยั้งโดยไฟเตส (phytase) เนื่องจากจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำในระบบย่อยอาหารในกุ้ง *P. japonicus* และกุ้งขาว ซึ่งในกุ้ง *P. japonicus* สามารถพบไฟเตสฟอสฟอรัส (phytase phosphorus) ได้ถึง 47.3 % และ 8.4 % ใน กุ้งขาว (Civera et al., 1990 อ้างโดย Davis & Lawrence, 1997) เช่นเดียวกัน การเติมไฟเตส 1.5 % ในอาหารจะทำให้ลดการใช้ P และ Zn (Davis et al., 1993 อ้างใน Davis & Lawrence, 1997)

การสะสม Ca ในพลาสมาจะมีระดับที่สูงในกุ้งกุลาดำ ที่ช่วงความเค็มกว้าง (Ferraris et al., 1986 อ้างโดย Tantulo & Fotedar, 2007) และจะมีผลมากกับการลอกคราบ ของกุ้ง (Parado-Estepa et al., 1989 อ้างโดย Tantulo& Fotedar, 2007) โดยที่ทดลองใช้น้ำความเค็ม 5 และ 35 ppt กุ้งจะมีการรักษาสมดุลความเข้มข้นของ Ca ได้ดี ซึ่งเหมือนกับน้ำในมหาสมุทรที่นำมาเปรียบเทียบการรักษาสมดุลในเวลาต่างกัน (Tantulo & Fotedar, 2007) ซึ่งความเข้มข้นของ Na, K, Mg และ Ca มีความสำคัญมากในพลาสมาของครัสเตเชียน ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งของน้ำทะเล โดยที่มี Mg ในพลาสมาต่ำ และความเข้มข้นของ K มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป และความเข้มข้นของ K ในพลาสมาจะมีความสัมพันธ์กันกับ Na และ Mg (Burton, 1967, 1973, 1975 อ้างโดย Burton, 1995) ซึ่งในกุ้ง *Homarus gammarus* มีความเข้มข้นของ Na ที่ระดับ 468 mmol/l, K ที่ระดับ 9.0 mmol/l, Mg ที่ระดับ 6.9 mmol/l และ Ca ที่ระดับ 14.1 mmol/l (Taylor & Whiteley, 1989 อ้างโดย Burton, 1995) และพบว่า ใน *C. maenas* มี Ca ในพลาสมาที่เพิ่มขึ้นก่อนการลอกคราบและจะต่ำลงหลังจากการลอกคราบ (Robertson, 1960; Greenaway, 1976 อ้างโดย Cheng et al., 2002) และยั้งพบว่า Ca จะมีการขับออกจากเปลือกและไปสะสมอยู่ที่ ตับ และลำไส้เล็ก (Greenaway, 1985 อ้างโดย Cheng et al., 2002) และระดับของ Ca ในพลาสมาในระยะ D2/D3 และA มีความแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับระยะ B ของกุ้งขาว และระดับของ Ca ในพลาสมาจะมีระดับที่สูงในระยะ A (Cheng et al., 2002)

การเพิ่มปริมาณ Ca ในอาหารจะมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ (interact) ระหว่างสารอาหารอื่น ๆ เช่น กุ้งจะต้องการ P มากกว่าความต้องการ Ca เพียงอย่างเดียวในอาหาร เช่น ในกุ้งกุลาดำ ระยะวัยรุ่นการเสริม P ที่ระดับ 0.5 % ในอาหารโดยที่ไม่มีการเสริม Ca ทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตดีกว่า เมื่อมีการเสริม Ca ร่วมด้วย (Penaflorida, 1999) เช่นเดียวกับ กุ้งขาวการเสริม Ca กับ P และ Ca:P มีผลต่อการเจริญเติบโต การสะสมแร่ธาตุในเนื้อเยื่อกุ้งที่เลี้ยงในความเค็มต่ำ ซึ่งในน้ำความเค็มต่ำจะมีระดับ Ca ต่ำ โดยระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ 0.77 % estimated available phosphorus (0.93 % ฟอสฟอรัสรวม) และ 0.5 % แคลเซียมรวม (Cheng et al., 2006) แต่อัตราส่วนของ Ca:P ในการเลี้ยงกุ้งยังไม่สามารถอธิบายได้ (Davis et al., 1993 อ้างโดย Cheng et al., 2006)

นอกจากนี้ความต้องการของ P ในกุ้งยังขึ้นอยู่กับปริมาณ Ca ในอาหารอีกด้วย ดังการทดลองได้ใช้สัดส่วนระหว่าง Ca และ P อัตราส่วน 0.56 ต่อ 1.10 จะทำให้กุ้ง *Hormarus americanus* มีการเจริญเติบโตดีหากสัดส่วนเพิ่มเป็น 1.55 หรือมากกว่าจะมีผลทำให้การสร้างเปลือกชั้นเอนโดคิวติเคิลผิดปกติ โดยทั่วไปอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในอาหารกุ้ง *P. japonicus* (Kitabayashi et al., 1971; Kanazawa et al., 1984 อ้างโดย Davis & Lawrence, 1997) การ Ca ประมาณ 0.34% ของ P จะยับยั้งการนำไปใช้ประโยชน์ของ P ในกุ้ง (phosphorus availability) ดังนั้นระดับ Ca ที่ผสมในอาหารไม่ควรเกิน 2.3%

ก.2 โซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์

ทั้ง Na, K และ Cl นับเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทาง สรีรวิทยา การเติม Na และ K ในอัตราส่วน 40-43 mmol/mmol ลงในน้ำความเค็ม 30 ppt ทำให้กุ้งขาว ระยะวัยรุ่นมีการเจริญเติบโตดีขึ้น แต่ถ้ามีการเติม Na และ K ในอัตราส่วนที่สูงถึง 150 mmol/mmol จะทำให้กุ้งตายภายใน 2 สัปดาห์ (Zhu et al., 2004) อีกทั้งพบว่า *P. japonicus* มีการเจริญเติบโตดีถ้ามีการเสริม K ในอาหาร 0.9 % (Kanazawa et al., 1984 อ้างโดย Davis & Lawrence, 1997) เช่นเดียวกับในการเลี้ยงกุ้ง *P. chinesis* ต้องมีการเสริม K ในอาหาร 1 % (Liu et al., 1995 อ้างโดย Zhu et al., 2006) อีกทั้งในการเลี้ยงกุ้งทะเลความเค็มต่ำ (2-4 ppt) ควรมี K ที่ระดับ 40 mg/l โดยอัตราส่วนของ Na:K ในน้ำทะเลธรรมชาติจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 28:1 แต่หากมีอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการรอดตาย ของปลาทะเลและสัตว์ในกลุ่มครัสเตเซียน (Roy et al., 2006) ในการเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 2-4 ppt พบว่า K อยู่ประมาณ 6.2 mg/l จึงต้องเพิ่มปริมาณ K เข้าไปในปริมาณ 40 mg/l พบว่า การสะสมแร่ธาตุในตับไม่มีความแตกต่างกับการสะสม Na, K, Mg และ Ca และทำให้การเจริญเติบโตดี (Roy et al., 2007)

ก.3 แมกนีเซียม

Mg มีความสำคัญต่อกุ้งทะเลในการปรับสมดุลแร่ธาตุภายในร่างกาย ความต่างศักย์ของเนื้อเยื่อ การสร้างเปลือกและการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เป็นแร่ธาตุที่พบปริมาณสูงในน้ำทะเล (1,350 mg/l) โดยทั่วไป กุ้งและปูที่ดำรงชีวิตอยู่ในทะเลจะพยายามขับ Mg ออกจากร่างกายเพื่อให้มีความเข้มข้นต่ำกว่าน้ำภายนอก ดังนั้น กุ้งทะเลที่เลี้ยงในน้ำความเค็มสูงจะไม่ขาดแร่ธาตุชนิดนี้ พบว่า กุ้งขาวจะมีการเจริญเติบโตดีที่สุดหากมีการเสริม Mg 1.2 g/kg ในอาหาร แต่มีการเจริญเติบโตลดน้อยลงหากมีการเสริมมากเกิน 4 g/kg สรุปได้ว่าในอาหารควรมี Mg อยู่ในระดับ 0.25-4 g/kg จะส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของกุ้งทะเล (Davis & Lawrence, 1997) การเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 2-4 ppt มี Mg ประมาณ 4.6 mg/l จึงต้องเพิ่ม Mg ที่ปริมาณ 20 mg/l และพบว่า การสะสม Mg แตกต่างกัน โดยการเสริมที่ระดับ 160 mg/l ในน้ำความเค็ม 4 ppt จะมีการสะสม Mg ที่สูงสุดอยู่ที่ 0.85 mg/g แต่จะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) กับที่ระดับ 80 mg/l (0.74 mg/g) และการสะสม Na, K และ Ca ในตับไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (Roy et al., 2007)

ข. แร่ธาตุรอง (Micro Mineral)

ข.1 ทองแดง

Cu เป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณต่ำมากในน้ำทะเล จึงทำให้กุ้งได้รับไม่เพียงพอต่อความต้องการเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทางสรีระเคมีเพื่อการเจริญเติบโตสูงสุด การสร้างเนื้อเยื่อจากการสะสมแร่ธาตุ (tissue mineralization) และกิจกรรมของเอนไซม์ (enzyme activity) อีกทั้งกุ้งยังต้องใช้ Cu เพื่อเป็นองค์ประกอบของฮีโมไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุเกี่ยวกับการหายใจ (respiratory pigment) หากขาด Cu พบปริมาณ Cu ต่ำในเปลือกส่วนหัวกุ้ง เลือด ตับ และหัวใจ พบว่า การเจริญเติบโตของกุ้งขาวลดลงหากมีปริมาณ Cu ต่ำกว่า 34 mg/kg ในอาหาร semi-purified diet (Davis & Lawrence, 1997)

ข.2 ไอโอดีนและ แมงกานีส

โดยทั่วไปแล้วไม่ค่อยได้ทำการประเมินถึงความจำเป็นของ I ต่อสรีระวิทยาของกุ้ง การเสริมปริมาณ I ที่ระดับ 1 mg/kg ในอาหารจึงน่าที่จะเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้ง ขณะที่ปริมาณ Mn ในน้ำทะเลมีค่าต่ำมาก (0.01 mg/l) อีกทั้งขบวนการนำ Mn ไปใช้ประโยชน์ในร่างกายยังถูกยับยั้งด้วย

phytic acid การเสริม Mn ในอาหารจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา อาการขาด Mn จะทำให้โตช้า การพัฒนาของเปลือกผิดปกติ ลูกวัยอ่อนตายสูง และอัตราการฟักจะต่ำ (Davis & Lawrence, 1997)

การเสริมแร่ธาตุในระบบการเลี้ยงกุ้งทะเล

การเสริมแร่ธาตุกับการเลี้ยงกุ้งมีความจำเป็นมาก เพราะว่าแร่ธาตุที่กุ้งต้องการในบ่อเลี้ยงมีปริมาณไม่เพียงกับความต้องการของกุ้ง เนื่องจากน้ำที่ใช้เลี้ยงมีโอกาสเผชิญกับความเค็มต่ำและยังมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยครั้ง และมีอัตราการปล่อยกุ้งเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูงขึ้นมาก จึงทำให้ปริมาณของแร่ธาตุในบ่อไม่เพียงพอกับความต้อง ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตช้าลง ร่างกายอ่อนแอ และก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ แทรกซ้อนขึ้น เพราะแร่ธาตุมีความสำคัญต่อระบบสรีระร่างกายกุ้ง โครงสร้างเปลือก เนื้อเยื่อ และยังทำหน้าที่อีกหลายประการ ทำให้การเสริมแร่ธาตุเป็นหนทางหนึ่งในการแก้ปัญหาของการเลี้ยงกุ้ง และต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของแร่ธาตุก็ต้องเหมาะสมกับความต้องการของกุ้ง แต่การวิจัยเรื่องสัดส่วนของแร่ธาตุในน้ำมีผลอย่างไรต่อกุ้งทะเลนั้นไม่พบเลยในประเทศไทย หรือมีอยู่น้อยมากในต่างประเทศ ดังรายงานที่พบว่าการเสริม K จะส่งผลต่ออัตรารอดและน้ำหนักตัวของกุ้งขาวในระยะโพสลาวาเพิ่มขึ้นที่ความเค็ม 4 ppt โดยมี Na:K อยู่ที่ 29-30:1 มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต แต่หากมี K ต่ำและมี Na:K อยู่ที่ 119:1 ทำให้การเจริญเติบโตและการรอดตายต่ำลง (Roy et al., 2007; Roy et al., 2006) และพบว่า ปริมาณ Na:K ที่ 40-43:1 เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเค็ม 30 ppt และหากปริมาณของ Na:K อยู่ที่ 187.3:1 มีผลต่อกิจกรรมต่าง ๆ และส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง (Zhu et al., 2004) และมีรายงานของ Davis & Gatlin (1996) อ้างโดย Roy et al. (2007) ว่าเมื่อมีการเติม K, Na และ Mg ในน้ำ พบว่า จะมีการสะสมของ Mg แต่จะมีการสะสม K และรายงานของ Prangnell & Fotedar (2006) กล่าวว่าการเลี้ยงกุ้ง *P. latisulcatus* ในน้ำความเค็ม 32 ppt เมื่อเสริม K ก็ส่งผลให้มีอัตราการรอดตายสูงถึง 100 % และความเข้มข้นของ K ในพลาสมาจะเพิ่มสูงขึ้นหลังจากเติมลงไป 4 ชั่วโมง ส่วนความเข้มข้นของ Na มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามค่าออสโมลาลิตี้ ตลอดช่วง 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นของ Mg แต่ Ca จะมีค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง และในน้ำความเค็มต่ำหากขาด K จะทำให้กุ้งลดการดูดซึมแร่ธาตุเข้าสู่ร่างกาย เมื่ออยู่ในสภาวะอย่างนี้นาน ๆ จะทำให้หน้าที่การรักษาสมดุลของกุ้งล้มเหลว

จากการตรวจสอบเอกสารการวิจัยของกุ้งหลายชนิดที่เลี้ยงในความเค็มน้ำต่าง ๆ กัน แสดงให้เห็นว่ากุ้งแต่ละชนิดมีระดับความต้องการความเค็มของการเลี้ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งมีอิทธิพลผลต่อปริมาณแร่ธาตุและสัดส่วนของแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำด้วย Roy et al. (2007) กล่าวว่า การเลี้ยงกุ้งในบริเวณน้ำจืดจะต้องมีการเสริมแร่ธาตุตลอดการเลี้ยงเพื่อรักษาระดับของ Mg และ K ไว้ตลอดเวลาจึงจะทำให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของกุ้ง โดยที่ความเค็ม 4 ppt จะต้องคงอัตราส่วนของ Na:K ให้อยู่ที่ 28:1 และเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น 20-25 ppt (สว่างพงษ์ และบุญรัตน์, 2551) ซึ่งเป็นช่วงความเค็มที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกุ้งขาว คือ iso osmotic point แสดงให้เห็นว่า หากมีการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็มต่ำจะต้องมีการเสริมแร่ธาตุบางชนิดลงไปเพื่อที่จะให้มีอัตราส่วนของแร่ธาตุให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของกุ้ง เมื่อเทียบกับความเค็ม 20-25 ppt และจากรายงานของ Zhu et al. (2004) กล่าวว่า ที่ความเค็ม 30 ppt อัตราส่วนของ Na:K ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต อยู่ที่ 20:1 และหากมีสูงถึง 27.9:1 ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตต่ำลง ดังนั้น การเจริญเติบโตของกุ้งขาวที่ดีต้องมีปริมาณของ K อยู่มาก เพราะหากมีปริมาณของ K มากหรือมีอัตราส่วนของ Na:K ต่ำจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและการกินอาหารมีประสิทธิภาพที่ดีด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Rahman et al. (2005) กล่าวว่า มีความจำเป็นในการ

เสริม K ลงไปในน้ำ เพราะจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของกุ้งกุลาดำ และ กุ้งขาว (Saoud et al., 2003; Davis et al., 2005)

ระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ความเค็มน้ำต่าง ๆ พบว่า น้ำทะเลที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็ม 5 ppt (Lin et al., 2000; Tantulo & Fotedar, 2007) ซึ่งพบว่าที่ความเค็ม 5 ppt มีปริมาณของ K อยู่น้อยทำให้อัตราส่วนของ Na:K มีค่าอยู่สูงกว่าประมาณ 2 เท่า เมื่อเทียบกับความเค็ม 25 ppt ขณะที่อัตราส่วนอื่น ๆ มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จึงอาจจะกล่าวได้ว่า ในการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็ม 5 ppt ควรมีการปรับอัตราส่วนของ Na:K ลดลงเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของกุ้ง ซึ่งจะสอดคล้องกับรายงานของ Tantulo & Fotedar (2007) ว่า น้ำที่ได้จากใต้ดินมีความเข้มข้นของ K ต่ำ ส่งผลให้เมื่อความเค็มน้ำเพิ่มสูงขึ้น การตายของกุ้งกุลาดำก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับรายงานของ Rahman et al. (2005) กล่าวว่า การตายของกุ้งไม่เกี่ยวข้องกับการเป็นโรคแต่จะเกี่ยวข้องกับความเค็มน้ำ และยังพบว่า การเลี้ยงกุ้งที่ความเค็ม 2.7 ppt ในบ่อดินแบบหนาแน่น หากมีการเสริม K ลงไปในอาหารปริมาณ 3 % จะส่งผลให้ปริมาณของ K ในเลือดมีระดับสูงกว่าชุดควบคุมและชุดที่เสริมแร่ธาตุ 1 % และยังพบอีกว่า ที่ความเค็ม 5 ppt ปริมาณ Na, Cl และ K ในพลาสมาของกุ้งจะมีความเข้มข้นต่ำกว่าที่ความเค็มอื่น ๆ (บุญรัตน์ และคณะ, 2547ก) และสอดคล้องกับงานวิจัยของบุญรัตน์ และคณะ (2546) ที่พบว่า ปริมาณของ Na, Cl และ K ในพลาสมาปูทะเลมีความเข้มข้นต่ำสุดที่ความเค็ม 5 ppt และสูงสุดที่ความเค็ม 25 ppt จึงอาจจะกล่าวได้ว่าในการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็มต่ำจำเป็นต้องเสริม K ลงไปเพื่อที่จะทำให้มีอัตราส่วนของ Na:K ไม่มากจนเกินไป