บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

การตรวจสอบคุณสมบัติน้ำระหว่างการเลี้ยง

การทดลองในครั้งนี้ได้ปรับความเค็มอยู่ในช่วง 5 - 42 ppt ซึ่งสมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 2540 ได้กล่าวว่ากุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ในช่วงกว้าง และพบได้มากอยู่ในช่วง 5 - 35 ppt ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 7.5 - 7.8 ซึ่ง Chiang et al.(1980) ได้กล่าวว่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสำหรับกุ้งกุลาดำอยู่ในช่วง 7.3 - 8.8 ค่าแอมโมเนียม (NH_4^+) อยู่ในช่วง 0 - 0.5 ppm ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่งประเภท 4 (เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง) โดยกรมควบคุมมลพิษ, กองจัดการคุณภาพน้ำ, 2540. ให้มีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ไม่เกิน 0.4 ppm ค่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 28 - 29 องศาเซลเซียส ซึ่ง Chiang et al.(1980) ได้กล่าวว่าช่วงอุณหภูมิ 25 - 32 องศาเซลเซียสทำให้กุ้งกุลาดำเจริญเติบโตได้ดี จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำดังกล่าวนี้ สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม และไม่ก่อให้เกิดปัญหากุ้งเครียดซึ่งจะมีผลต่อการป่วยและตายได้

การทดลองผลของความเค็มต่อการปรับสมดุลเกลือและน้ำในกุ้งกุลาดำ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น (Subadult) มีการควบคุมสมดุลไอออน ได้เป็นไปตาม Charmantier (1998) ซึ่งสรุปไว้ว่า รูปแบบการปรับสมดุลในครัสตาเชียนั้นเริ่มพบในระยะโพสต์ - เอมบรีโอนิก (Post - embryonic stage) ผลจากการทดลองพบว่าไอออนบวกทั้ง 4 ชนิดมีรูปแบบแตกต่างกันซึ่งโซเดียมไอออนเป็นไอออนที่มีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของไอออนหลักของของเหลวในร่างกายสิ่งมีชีวิตในทะเลนั้น มีการปรับตัวให้ใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวมากที่สุด องค์ประกอบที่สำคัญซึ่งพบมากที่สุดคือคลอไรด์และโซเดียมไอออน และเป็นลักษณะเดียวกับองค์ประกอบของน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์และโซเดียมไอออนอยู่ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ (Libes, 1992) ดังนั้นจากการทดลองนี้ โซเดียมไอออนน่าจะเป็นไอออนหลักที่ควบคุมการปรับสมดุลไอออน

โซเดียมไอออนในเลือดจากการทดลองมี Isoionic point กับสภาวะล้อมรอบข้างที่ 19.84 ppt มีลักษณะ Hyperionic regulation ในน้ำความเค็มต่ำกว่า 16.28 ppt และมีลักษณะ Hypoionic regulation ในน้ำความเค็ม 19.84 ppt ขึ้นไป พบลักษณะนี้ในการทดลองของ Castille and Lawrrence (1981 a) ในกุ้งทะเลสกุล *Penaeus* คือ *P. azectus, P. duoraram, P.setiferus* และ *P. vannamei* และในปูทะเล *Scylla serrata* (Chen and Chia ,1997) ซึ่งในน้ำความเค็มต่ำเป็น Hyperionic regulation และในน้ำความเค็มสูงเป็น Hypoionic regulation เมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งน้ำจืดสกุล *Macrobrachium* คือ *M. rosenbergii* (Funge - Smith et al.,1995), *M. amezonicum* (Zander and Rodriguez, 1992) , *M. carcinus* (Moriera et al.,1988) และ และ *M. ohione* (Castille and Lawrence,1981 b.) พบว่าในน้ำความเค็มต่ำมีลักษณะเหมือนกันคือเป็น Hyperionic regulation ในความเค็มที่สูงขึ้น *M. rosenbergii* และ *M. amezonicum* เป็นลักษณะ Hypoionic regulation *M. carcinus* และ *M. ohione* เป็นลักษณะ Slightly hypoionic regulation ซึ่งขนานไปกับ Isoionic line จากผลการทดลองนี้แสดงว่า การปรับสมดุลโซเดียมไอออนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของครัสตาเชีย ครัสตาเชียที่มีวงจรชีวิตคล้ายกันจะมีลักษณะการปรับสมดุลคล้ายกัน เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 14 ก. พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเค็มกับความเข้มข้นโซเดียมไอออน กล่าวคือเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น 1 ppt โซเดียมไอออนจะลดลง 1.99 mMol แสดงให้เห็นว่ากุ้งมีลักษณะการปรับสมดุลโซเดียมไอออนเป็นแบบ osmoregulation กล่าวคือไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อม จากจุด isoionic point ที่ 19.84 ppt ซึ่งเป็นจุดที่กุ้งใช้พลังงานในการปรับตัวน้อยที่สุด ซึ่งน่าจะมาจากวงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น (รูปที่ 2) เป็นระยะที่ว่ายน้ำออกจากชายฝั่งสู่ทะเลลึกและสามารถใช้ชีวิตได้นาน 1 - 2 ปี (Motoh, 1981) ดังนั้นกุ้งกุลาดำในระยะนี้จึงมีสมดุลโซเดียมไอออนที่เหมาะสมอยู่ที่ 19 .84 ppt ส่วนที่ความเค็มต่ำนั้นพิจารณาจากจากวงจรชีวิตกุ้งกุลาดำที่อยู่ในความเค็มระดับนี้คือระยะโพสต์ลาร์วาถึงระยะวัยรุ่นซึ่งสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มบริเวณปากแม่น้ำได้ดี ดังนั้นกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้นจึงมีการปรับตัวได้ไม่ดีเท่าสองระยะดังกล่าวที่ความเค็มต่ำ กุ้งจึงดูดซึมโซเดียมไอออนไว้มาก ซึ่ง Charmantier (1998) ได้สรุปว่าในตัวเต็มวัยจะใช้เวลาปรับตัวสูงกว่าระยะต้น ๆ

โปแตสเซียมไอออนพบอยู่ในเซลล์ของร่างกายและในเลือด (ประจวบ หลำอุบล, 2537) จากผลการทดลองพบว่ามี Isoionic point กับสภาวะล้อมรอบข้างที่ 23.45 ppt มีลักษณะ Hyperionic regulation ในน้ำความเค็มต่ำกว่า 23.45 ppt และมีลักษณะ Hypoionic regulation ในน้ำความเค็ม 23.45 ppt ขึ้นไป พบลักษณะการปรับสมดุลลักษณะนี้ในกุ้งน้ำจืด *M. rosenbergii* (Funge - Smith et al.,1995)และ *M. carcinus* (Moriera et al.,1988) ซึ่งทั้งสองการทดลองมีค่า Isoionic point สูงกว่าค่า

โซเดียมไอออนเหมือนกับการทดลองครั้งนี้ แต่ใน *M. amezonicum* (Zander and Rodriguez, 1992) และในปูทะเล *Scylla serrata* (Chen and Chia ,1997) มีลักษณะการปรับสมดุลเหมือนการทดลองนี้ เช่นกันแต่มีค่า Isoionic point เท่ากับค่าโซเดียมไอออน แสดงว่าการปรับสมดุลของโปแตสเซียมไอออนมีลักษณะคล้ายกันในครัสตาเชียด้วยกัน แต่ค่า Isoionic point เป็นลักษณะจำเพาะของแต่ละชนิด จากตารางที่ 2 และกราฟในรูปที่ 14 ข. ผลจากการทดลองจะเห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก เมื่อเทียบกับโซเดียมไอออนซึ่งเป็นประจุบวกหนึ่งเหมือนกัน ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความเค็มมีอิทธิพลน้อย และมีลักษณะการปรับสมดุลโปแตสเซียมไอออนเป็นแบบ osmoregulation การทดลองใน Blue shrimp *Penaeus styliostris* (Vargas - Albores and Ochoa, 1992) ที่ความเค็ม 36 ppt พบว่าค่าโปแตสเซียมของกุ้งขนาดใหญ่มีค่ามากกว่ากุ้งขนาดเล็ก เปรียบเทียบกับผลการทดลองในครั้งนี้ซึ่งค่าที่ความเค็มสูงไม่แตกต่างจากความเค็มต่ำมาก อาจจะได้รับอิทธิพลจากขนาดของกุ้ง

แมกนีเซียมไอออนพบในกล้ามเนื้อและในเลือด 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณในน้ำทะเลในรูปที่ 1 ปรากฏว่ามีสูงกว่าในตัวสัตว์น้ำมาก ผลจากการทดลองจึงพบว่าแมกนีเซียมไอออนมีลักษณะ Hypoionic regulation ทุกความเค็ม พบการปรับสมดุลลักษณะนี้ในกุ้งน้ำจืด *M. rosenbergii* (Funge - Smith et al.,1995) และ *M. amezonicum* (Zander and Rodriguez, 1992) ซึ่งอยู่ใน Suborder Natantia เหมือนกัน แต่แตกต่างจากปูทะเล *Scylla serrata* (Chen and Chia ,1997) ซึ่งอยู่ใน Suborder Reptantia พบว่ามีลักษณะ Hypoionic regulation ที่ความเค็ม 21 ppt ขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 1และประจวบ หลำอุบล, 2537 ได้กล่าวว่าแมกนีเซียมไอออนในเลือดของครัสตาเชียในทะเลมีค่าสูงกว่าครัสตาเชียในน้ำจืด แมกนีเซียมไอออนเกี่ยวข้องกับกลไกการเคลื่อนที่ สัตว์ที่มีแมกนีเซียมไอออนสูงจะมีการเคลื่อนที่เร็วกว่า แสดงให้เห็นว่าการปรับสมดุลแมกนีเซียมไอออนใน Suborder Natantia มีลักษณะแตกต่างจาก Suborder Reptantia เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่14 ค. พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเค็มกับความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออน กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 1 ppt แมกนีเซียมไอออนมีค่าเพิ่มขึ้น 0.09 mMol ซึ่งเป็นลักษณะการปรับสมดุลแบบ osmoconformer

แคลเซียมไอออนพบเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงร่างภายนอก ในเลือด และในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (ประจวบ หลำอุบล, 2537) จากผลการทดลองพบว่ามี Isoionic point กับสภาวะล้อมรอบข้างที่ 22.18 ppt มีลักษณะ Hyperionic regulation ในน้ำความเค็มต่ำกว่า 22.18 ppt และมีลักษณะ Hypoionic regulation ซึ่งมีลักษระการปรับสมดุลแคลเซียมไอออนเป็นแบบ osmoregulation ในน้ำความเค็ม 22.18 ppt ขึ้นไป ประจวบ หลำอุบล, 2537 ได้กล่าวว่าแคลเซียม

ไอออนในเลือดของครัสตาเชียในทะเลมีค่าต่ำกว่าครัสตาเชียในน้ำจืด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้เมื่อเทียบกับการทดลองในกุ้งน้ำจืด *M. rosenbergii* (Funge - Smith et al.,1995), *M. carcinus* (Moriera et al.,1988) และ *M. amezonicum* (Zander and Rodriguez, 1992) ซึ่งพบว่ามีลักษณะ Hyperionic regulation ทุกความเค็ม และการทดลองในปูทะเล *Scylla serrata* (Chen and Chia ,1997) พบลักษณะ Hypoionic regulation ที่ความเค็ม 33.4 ppt ขึ้นไป พิจารณาตารางที่ 2 และกราฟรูปที่ 14 ง. จากผลการทดลองพบว่าความเค็มไม่มีอิทธิพลต่อแคลเซียมไอออน ($P>0.01$) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการทดลองของ Ferris et al.(1986) พบว่ากุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้นที่ความเค็ม 8 - 40 ppt มีค่าคงที่ ซึ่งน่าจะได้รับอิทธิพลจากการลอกคราบกล่าวคือ ก่อนการลอกคราบกุ้งจะสะสมแคลเซียมไอออนจากเปลือกเดิมมาเก็บไว้ในเลือดและระบบทางเดินอาหาร เพื่อสร้างผิวหนัง (Epidermis) ชุดใหม่ โดยที่กุ้งในน้ำความเค็มต่ำจะดึงแคลเซียมไอออนจากคราบเดิม ส่วนกุ้งในน้ำความเค็มสูงจะดึงแคลเซียมไอออนจากน้ำรอบข้างมากกว่าคราบเดิม ผลจากกลไกการลอกคราบนี้ทำให้กุ้งมีความสามารถในการรักษาแคลเซียมไอออนได้ดี แม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำรอบข้าง

เมื่อพิจารณาโซเดียมไอออนซึ่งเป็นไอออนหลักที่สำคัญ ค่า isoionic point คือ 19.84 ppt ซึ่งเป็นจุดที่อาจจะมีผลทำให้มีการเจริญเติบโตดีกว่าความเค็มอื่นเนื่องจากใช้พลังงานในการปรับตัวน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่า isoionic point กับโปแตสเซียมและแคลเซียมไอออนคือ 23.45 และ 22.18 ppt พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้นน่าจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดที่ความเค็มประมาณ 19.84 ppt ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 5 - 35 ppt (สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 2540)

การทดลองผลของการตัดก้านตาต่อการปรับสมดุลเกลือและน้ำในกุ้งกุลาดำ

การศึกษา Neuroendrocrine control ในกุ้งกุลาดำโดยวิธีการตัดก้านตา (Eyestalk ablation) เป็นวิธีการกำจัดที่แหล่งผลิตฮอร์โมน เมื่อกำจัดฮอร์โมนออกไปแล้วจะเกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาซึ่งเป็นผลจากการขาดฮอร์โมนนั้น (Florey, 1966) ผลจากการทดลองพบว่าโซเดียมไอออนในเลือดจากตารางที่ 3 และรูปที่ 15 หลังจากตัดก้านตามีการเปลี่ยนแปลงทุกความเค็ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ตัดก้านตา พบว่ามีรูปแบบไปในทางเดียวกันทุกความเค็ม แสดงว่าการตัดก้านตาไม่ได้มีอิทธิพลต่อการปรับสมดุลโซเดียมไอออนในเลือด จากผลการทดลองที่ 1 ค่า isoionic point คือ 19.84 ppt และพิจารณาจากกราฟรูปที่ 15 พบว่าเมื่ออยู่ในสภาวะความเค็ม

ต่าง ๆ กุ้งพยายามปรับสมดุลแบบ osmoregulation กล่าวคือความเข้มข้นโซเดียมไอออนที่ความเค็ม 5 ppt ซึ่งอยู่ในสภาวะ hyperionic regulation กุ้งพยายามปรับตัวให้มีค่าลดลง ที่ความเค็ม 17 ppt ซึ่งอยู่ใกล้ isoionic point มีค่าคงที่ ที่ความเค็ม 30 และ 42 ppt ซึ่งซึ่งอยู่ในสภาวะ hypoionic regulation กุ้งพยายามปรับตัวให้มีค่าเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบผลการทดลองในกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่น (Nan, et al. 1993) ที่ความเค็ม 30 ppt ซึ่งตัดก้านตาแล้ว 5 เดือนโซเดียมไอออนมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ในปูก้ามดาบ *Uca pugilator* (Heit and Fingerman, 1975) พบว่าเมื่อปูอยู่ในน้ำความเค็มสูงโซเดียมไอออนลดลงหลังตัดก้านตา ใน American lobster *Homarus americanus* (Charmantier, 1998) ในน้ำความเค็มต่ำการตัดก้านตาทำให้โซเดียมไอออนลดลงเช่นกัน ดังนั้นแสดงวากลไกของฮอร์โมนจากก้านตาที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลโซเดียมไอออนนั้นไม่พบในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น และน่าจะขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของครัสตาเชียรวมทั้งความเค็มที่เหมาะสมต่อระยะนั้นด้วย

โปแตสเซียมไอออนในเลือดจากตารางที่ 4 และรูปที่ 16 หลังจากตัดก้านตามีการเปลี่ยนแปลงทุกความเค็ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ตัดก้านตา พบว่ามีรูปแบบไปในทางเดียวกันทุกความเค็ม แสดงว่าการตัดก้านตาไม่ได้มีอิทธิพลต่อการปรับสมดุลโปแตสเซียมไอออนในเลือด จากผลการทดลองที่ 1 ค่า isoionic point คือ 23.45 ppt และพิจารณาจากกราฟรูปที่ 16 พบว่าเมื่ออยู่ในสภาวะความเค็มต่าง ๆ กุ้งพยายามปรับสมดุลแบบ osmoregulation กล่าวคือความเข้มข้นโปแตสเซียมออออน ที่ความเค็ม 5 ppt มีค่าคงที่ ที่ความเค็ม 17 ppt ซึ่งอยู่ในสภาวะ hyperionic regulation กุ้งพยายามปรับตัวให้มีค่าเพิ่มขึ้น ที่ความเค็ม 30 และ 42 ppt ซึ่งซึ่งอยู่ในสภาวะ hypoionic regulation กุ้งพยายามปรับตัวให้มีค่าเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบผลการทดลองในกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่น (Juvenile) (Nan, et al. 1993) ที่ความเค็ม 30 ppt ซึ่งตัดก้านตาแล้ว 5 เดือนโปแตสเซียมไอออนมีค่าสูงว่าชุดควบคุม จากผลการทดลองของ Vargas - Albires and Ochoa (1992) ใน Blue shrimp *Penaeus stylirostris* พบว่าโซเดียมและโปแตสเซียมไอออนมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับ ค่า Osmolarity และการทดลองของ Charmantier - Daures et al.(1994) ใน American lobster *Homarus americanus* ที่ความเค็ม 28 - 31 ppt ในระยะตัวเต็มวัยพบว่าค่า Osmolarity ลดลง 5 เปอร์เซ็นต์หลังจากตัดก้านตา และ Charmantier (1998) ได้สรุปว่า *Penaeus indicus* และ *Homarus americanus* มีลักษณะการปรับสมดุลในตัวเต็มวัยเหมือนกันคือ Osmoregulation ดังนั้นแสดงให้เห็นว่ากลไกของฮอร์โมนจากก้านตาที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลโปแตสเซียมไอออนนั้นไม่พบในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น และน่าจะขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของครัสตาเชียนั้น ๆ

แมกนีเซียมไอออนในเลือดจากตารางที่ 5 และรูปที่ 17 หลังจากตัดก้านตามีการเปลี่ยนแปลงทุกความเค็ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ตัดก้านตา พบว่ามีรูปแบบไปในทางเดียวกันทุกความเค็ม แสดงว่าการตัดก้านตาไม่ได้มีอิทธิพลต่อการปรับสมดุลแมกนีเซียมไอออนในเลือด ผลจากการทดลองที่ 1 แมกนีเซียมไอออนมีลักษณะ Hypoionic regulation ทุกความเค็ม พิจารณาจากกราฟรูปที่ 17 พบว่าทุกความเค็มกราฟมีลักษณะคงที่ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเค็มที่สูงขึ้นซึ่งเป็นลักษณะ osmoconformer บทบาทของฮอร์โมนจากก้านตาที่น่าจะเกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลแมกนีเซียมไอออนยังมีการศึกษากันน้อยเมื่อเทียบกับไอออนหลักคือโซเดียมและคลอไรด์ไอออน และไม่พบในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น

แคลเซียมไอออนในเลือดจากตารางที่ 6 และรูปที่ 18 หลังจากตัดก้านตามีการเปลี่ยนแปลงทุกความเค็ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ตัดก้านตา พบว่ามีรูปแบบไปในทางเดียวกันทุกความเค็ม แสดงว่าการตัดก้านตาไม่ได้มีอิทธิพลต่อการปรับสมดุลแคลเซียมไอออนในเลือด ผลจากการทดลองที่ 1 แคลเซียมไอออนมี Isoionic point ที่ 22.18 ppt พิจารณาจากกราฟรูปที่ 18 ที่ความเค็ม 5 และ 17 ppt ซึ่งมีลักษณะ Hyperionic regulation นั้นกราฟมีลักษณะไปในทางเดียวกันคือมีแนวโน้มลดลง ส่วนที่ความเค็ม 30 และ 42 ppt ซึ่งมีลักษณะ Hypoionic regulation นั้นกราฟมีลักษณะไปในทางเดียวกันคือปรับตัวเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ากุ้งพยายามปรับตัวแบบ osmoregulation เปรียบเทียบผลการทดลองในกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่น (Juvenile) (Nan, et al. 1993) ที่ความเค็ม 30 ppt ซึ่งตัดก้านตาแล้ว 5 เดือนแคลเซียมไอออนมีค่าสูงว่าชุดควบคุม ดังนั้นแสดงให้เห็นว่ากลไกของฮอร์โมนจากก้านตาที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลแคลเซียมไอออนนั้นไม่พบในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น และน่าจะขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของครัสตาเซียนั้น ๆ

ในก้านตากุ้งมีฮอร์โมนอยู่หลายชนิด การตัดออกจึงเป็นการกำจัดแหล่งผลิตฮอร์โมนตัวอื่นด้วยเช่นกัน ซึ่งจะมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของกลไกอื่น ๆ ได้ Florey, E.(1966) ได้กล่าวว่า กลไกต่าง ๆ ในร่างกายหลายกลไกถูกควบคุมด้วยหลายฮอร์โมนซึ่งทำงานร่วมกัน การกำจัดฮอร์โมนชนิดหนึ่งซึ่งไม่มีผลต่อการหลั่งของฮอร์โมนชนิดอื่นซึ่งทำงานร่วมกัน และอาจจะไม่มีผลต่อกลไกต่อฮอร์โมนชนิดอื่นได้เช่นกัน การควบคุมการปรับสมดุลเกลือและน้ำในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้นนี้อาจจะเป็นกลไกที่ทำงานด้วยกันหลายฮอร์โมน ซึ่งอาจจะอยู่ที่ก้านตาและทำงานร่วมกับฮอร์โมนชนิดอื่นที่ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งนี้ หรืออาจจะอยู่ที่ตำแหน่งอื่นที่ไม่ใช่ที่ก้านตา ดังนั้นการตัดก้านตาถึงแม้ว่าเป็นการกำจัดที่แหล่งผลิตจึงไม่มีผลการตอบสนองทางสรีรวิทยา

การทดลองผลของการตัดก้านตาต่อความสามารถในการปรับตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็ม

การทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงความเค็มจากปกติเป็นความเค็มที่สูงขึ้นหรือต่ำลง เป็นการทดสอบความสามารถในการปรับตัวและการตอบสนองทางสรีรวิทยา เนื่องจากในสภาวะปกติมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำได้เสมอ ผลการทดลองจากตารางที่ 7 และกราฟรูปที่ 19 พบว่าเมื่อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 ppt เป็น 5 ppt โซเดียมไอออนมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งแสดงว่ากุ้งพยายามปรับค่าขึ้นมาตามการทดลองที่ 1 และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 30 ppt เป็น 42 ppt โซเดียมไอออนมีค่าคงที่ การตัดก้านตาไม่มีผลต่อสมดุลโซเดียมไอออนทั้งสองชุดการทดลองเนื่องจากกราฟมีรูปแบบไปในทางเดียวกัน ถึงแม้ว่าในชุดการทดลอง 30 ppt หลังตัดก้านตา 48 ชั่วโมงจะมีความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ($P<0.01$) แต่กราฟยังคงไปในทิศทางเดียวกัน การทดลองใน Blue Shrimp *Penaeus stylirostris* (Vargas – albires and Ochoa, 1992) พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของโซเดียมและโปแตสเซียมไอออนกับค่า Osmolarity การทดลองในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น (Ferraris et al., 1986) ซึ่งย้ายกุ้งจาก 32 ppt ไปที่ 8 – 40 ppt พบว่าค่า Osmolarity และคลอไรด์ไอออนมีค่าคงที่ 1 – 2 วันหลังย้ายกุ้ง และจากการทดลองในกุ้งทะเล *Penaeus setiferus* (Castille and Lawrence, 1981) ซึ่งย้ายกุ้งจาก 40 ppt ไป 45 ppt และ 10 ppt ไป 5 ppt พบว่าค่า Osmolarity มีค่าคงที่ 3 และ 4 วัน หลังย้ายกุ้ง เปรียบเทียบผลการทดลองครั้งนี้พบว่ากุ้งสามารถปรับตัวให้มีค่าคงที่แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำรอบข้าง และยังคงรักษาลักษณะ hyperionic regulation ในน้ำความเค็มต่ำและลักษณะ hypoionic regulationในน้ำความเค็มสูง

ผลการทดลองพบว่าโปแตสเซียมไอออนจากตารางที่ 8 และรูปที่ 20 เมื่อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 ppt เป็น 5 ppt และจาก 30 ppt เป็น 42 ppt ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากุ้งพยายามปรับตัวให้ค่าคงที่และยังคงรักษาลักษณะ hyperionic regulation ในน้ำความเค็มต่ำและลักษณะ hypoionic regulationในน้ำความเค็มสูงได้ตลอดการทดลอง การตัดก้านตาไม่มีผลต่อสมดุลโปแตสเซียมไอออนทั้งสองชุดการทดลองเนื่องจากกราฟมีรูปแบบไปในทางเดียวกัน

แมกนีเซียมไอออนจากตารางที่ 9 และรูปที่ 21 พบว่าเมื่อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 เป็น 5 ppt แมกนีเซียมไอออนมีแนวโน้มลดลง และจาก 30 เป็น 42 ppt แมกนีเซียมไอออนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะ osmoconformer ในการทดลองที่ 1 การตัดก้านตาไม่มีผลต่อสมดุลแมกนีเซียมไอออนทั้งสองชุดการทดลองเนื่องจากกราฟมีรูปแบบไปในทางเดียวกัน

ผลการทดลองพบว่าแคลเซียมไอออนจากตารางที่ 10 และรูปที่ 22 พบว่าเมื่อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 ppt เป็น 5 ppt แคลเซียมไอออนลดลงเล็กน้อย และจาก 30 ppt เป็น 42 ppt แคลเซียมไอออนค่อนข้างคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ที่พบว่าความเค็มไม่มีผลต่อแคลเซียมไอออน การตัดก้านตาไม่มีผลต่อสมดุลแคลเซียมไอออนทั้งสองชุดการทดลอง เนื่องจากกราฟมีรูปแบบไปในทางเดียวกัน เปรียบเทียบการทดลองในกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยระยะต้น (Ferraris et al., 1986) ซึ่งย้ายกุ้งจาก 32 ppt ไปที่ 8 – 40 ppt พบว่าแคลเซียมไอออนมีค่าคงตลอดการทดลอง 10 วันหลังย้ายกุ้ง ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากุ้งพยายามปรับตัวให้ค่าคงที่และยังคงรักษาลักษณะ hyperionic regulation ในน้ำความเค็มต่ำและลักษณะ hypoionic regulationในน้ำความเค็มสูงได้ตลอดการทดลอง

ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเวลาในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของครัสตาเชียนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของครัสตาเชีย ชนิดของไอออน รวมทั้งความแตกต่างระหว่างความเค็มที่เปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

การทดลองผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็ม

L- carnitine เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสันดาปไขมันในไมโตคอนเดรีย (Rotzch, 1996) การทดลองในสัตว์น้ำจะมีผลที่สำคัญต่อต่ออัตราการรอด อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Lonza, 1996) ซึ่งสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไขมันในปลา Red sea beam ระยะ fingering (Chatzifotis et al., 1995) สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อใน White prawn *Penaeus indicus* ระยะ Juvenile (Jayaprakas and Sambhu, 1995) ผลการทดลองต่อสมดุลไอออนพบว่า โซเดียม, โปแตสเซียม, แมกนีเซียม และแคลเซียมไอออน มีลักษณะของกราฟไปในแนวทางเดียวกันทั้งในชุดอาหารเม็ดปกติและชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน ซึ่งการตัดก้านตาไม่มีผลต่อสมดุลไอออน เนื่องจากกราฟมีลักษณะรูปแบบเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าโซเดียมไอออนทั้งสองชุดการทดลอง (ตารางที่ 11 ก. รูปที่ 23 และตารางที่ 11 ข. รูปที่ 24) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 ppt เป็น 5 ppt และจาก 30 ppt เป็น 42 ppt กุ้งยังคงรักษาลักษณะ Hyperionic regulation และ Hypoionic หลังย้ายกุ้งทั้งสองชุดความเค็มและสองชุดการทดลอง โปแตสเซียมไอออนทั้งสองชุดการทดลอง (ตารางที่ 12 ก. รูปที่ 25 และตารางที่ 12 ข. รูปที่ 26) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 ppt เป็น 5 ppt และจาก 30

ppt เป็น 42 ppt กุ้งยังคงรักษาลักษณะ Hyperionic regulation และ Hypoionic regulation หลังย้ายกุ้งทั้งสองชุดความเค็มและสองชุดการทดลอง อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างระหว่างชุดควบคุมและชุดตัดก้านตาซึ่งน่าจะมาจากน้ำหนักกุ้ง (Vargas - Albores and Ochoa, 1992) แมกนีเซียมไอออนทั้งสองชุดการทดลอง (ตารางที่ 13 ก. รูปที่ 27 และตารางที่ 13 ข. รูปที่ 28) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 ppt เป็น 5 ppt และจาก 30 ppt เป็น 42 ppt กุ้งยังคงรักษาลักษณะ Hypoionic regulation ซึ่งทั้งค่าโซเดียม, โปแตสเซียม และ แมกนีเซียมไอออนสอดคล้องกับการทดลองที่ 3 , การทดลองของ Ferraris et al. (1986) และ การทดลองของ Castille and Lawrence (1981) กล่าวคือกุ้งพยายามปรับตัวให้ค่าคงที่ แคลเซียมไอออนทั้งสองชุดการทดลอง (ตารางที่ 14 ก. รูปที่ 29 และตารางที่ 14 ข. รูปที่ 30) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 17 ppt เป็น 5 ppt และจาก 30 ppt เป็น 42 ppt กุ้งยังคงรักษาลักษณะ Hyperionic regulation และ Hypoionic regulation ซึ่งแคลเซียมไอออนมีความแตกต่างภายในกลุ่มน้อยกว่าทั้งสามไอออนแรก (ภาคผนวก ข.) และสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่พบอิทธิพลจากความเค็ม และสอดคล้องกับการทดลองของ Ferraris et al.(1986) จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการปรับสมดุลไอออนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็ม มีลักษณะเดียวกันทั้งชุดอาหารเม็ดปกติและชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน และไม่พบอิทธิพลของการตัดก้านตาเช่นกัน

เมื่อมาวิเคราะห์อิทธิพลของอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็มต่าง ๆ ต่อสมดุลไอออน โดยไม่คิดปัจจัยการตัดก้านตาซึ่งพบว่าไม่มีอิทธิพล จากการทดลองและการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าอาหารเสริมคาร์นิทีนทำให้โซเดียมไอออนมีค่าน้อยกว่าชุดอาหารเม็ดปกติที่ความเค็ม 12, 30 และ 36 ppt เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 23 จะเห็นว่า ในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ 12 ppt ค่าระหว่างชุดตัดก้านตาและชุดควบคุมอยู่เกาะกลุ่มกันมากกว่า (ภาคผนวก ข.) ซึ่งชุดอาหารเม็ดปกติมีค่าจากชุดตัดก้านตาสูงกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย จึงน่าจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยสูงขึ้น อย่างไรก็ตามทั้งสองชุดการทดลองแสดงให้เห็นว่ากุ้งพยายามปรับตัวให้ค่าคงที่เมื่อลดความเค็มลงมา เมื่อพิจารณาในกราฟรูปที่ 24 พบว่าในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ ความเค็ม 30 ppt และ 36 ppt ถึงแม้ว่าจะได้รับอิทธิพลจากอาหารเสริมคาร์นิทีนแต่ไม่เป็นแนวทางชัดเจน กล่าวคือหลังจากนั้นกุ้งสามารถปรับตัวให้ค่าเท่ากับชุดการทดลองปกติและกราฟยังคงมีแนวโน้มเหมือนอาหารเม็ดปกติ

โปแตสเซียมไอออนได้รับอิทธิพลของอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็ม 17 ppt ซึ่งทำให้มีค่าสูงกว่าในอาหารเม็ดปกติ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 25 จะเห็นว่าชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนอยู่เกาะกลุ่มกันมากกว่า ส่วนชุดอาหารเม็ดปกติชุดตัดก้านตามีค่าลดต่ำลงเล็กน้อยจึงมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยลดลง กราฟทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน และพยายามปรับตัวเพื่อให้ค่าคงที่

แมกนีเซียมไอออนได้รับอิทธิพลของอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็ม 12 ppt, 5 ppt และ 30 ppt เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 27 และ 28 จะเห็นว่าชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนอยู่เกาะกลุ่มกันมากกว่าและอิทธิพลของอาหารเสริมคาร์นิทีนไม่เป็นไปแนวทางชัดเจน ประกอบกับทั้งสองชุดการทดลองพยายามปรับตัวให้คงที่ แคลเซียมไอออนได้รับอิทธิพลของอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็ม 17 ppt ทำให้มีค่าสูงกว่าชุดอาหารเม็ดปกติ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 29 จะเห็นว่าชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนอยู่เกาะกลุ่มกันมากกว่าและชุดอาหารเม็ดปกติอยู่ในช่วงปรับตัวให้คงที่ และอิทธิพลของอาหารเสริมคาร์นิทีนไม่เป็นไปแนวทางชัดเจน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า L- carnitine ไม่มีผลต่อสมดุลโซเดียม, โปแตสเซียม, แมกนีเซียม และแคลเซียมไอออน