ผลของความเค็มที่มีต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดของปูก้ามหัก *Macrophthalmus teschi* Kemp, 1919

Effect of Salinity on Oxygen Consumption Rates and Haemolymph Osmolality of Crab, *Macrophthalmus teschi* Kemp, 1919

นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร*, ศิวพร ธารา และ บุษรินทร์ ธัญญเจริญ
ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Nongnud Tangkrock-olan*, Siwaporn Thara and Busarin Thanyacharoen
Department of Aquatic Science, faculty of Science, Burapha University

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนและค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหัก (*Macrophthalmus teschi*) ที่รวบรวมได้จากบริเวณชายหาดอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ปูที่นำมาทดลองมีขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ย 17.6 ± 2.1 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.51 ± 0.22 กรัม ถูกปรับสภาพในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนนำมาทำการทดลอง พบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนของปูมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลง ทั้งนี้อัตราการบริโภคออกซิเจนของปูน้ำหนัก 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 11.51, 6.49, 3.61, 4.24 และ 6.46 ไมโครโมลต่อชั่วโมง ที่ความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในพันส่วน ตามลำดับ

ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูที่ถูกนำไปไว้ในน้ำที่มีระดับความเค็มน้ำ 0, 5, 10, 20, 30, 40 ส่วนในพันส่วน และโผล่พ้นน้ำ (air) ที่เวลา 0, 3, 6, 12, 24, 48 ชั่วโมง และภายหลังจากที่นำปูมาไว้ที่ความเค็มปกติ 2 วัน ถูกวัดโดยออสโมลมิเตอร์ชนิดความดันไอระเหย (vapour pressure osmometer) พบว่า ปูทั้งหมดตายภายใน 3 ชั่วโมง ในน้ำที่มีระดับความเค็ม 0 ส่วนในพันส่วน ส่วนค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูที่ระดับความเค็มน้ำ 5, 10, 20, 30, 40 ส่วนในพันส่วน และที่โผล่พ้นน้ำ (air) ที่เวลา 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 595±21, 629±47, 718±36, 930±10, 1095±35 และ 1093±37 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากนำปูกลับมาไว้ที่ระดับความเค็มน้ำปกติเป็นเวลา 2 วัน ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูที่ 5, 10, 20, 30, 40 ส่วนในพันส่วน และที่โผล่พ้นน้ำ (air) มีค่าเท่ากับ 944±23, 951±20, 943±22, 935±23, 939±22 และ 949±22 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับที่ 0 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) จุดสมดุล (isosmotic point) ของเลือดปูก้ามหักที่เวลา 48 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 850 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม (26 ส่วนในพันส่วน) การรักษาสมดุลของของเหลวในร่างกายปูเป็นแบบ hyper-hypo osmoregulation

คำสำคัญ : ความเค็ม อัตราการบริโภคออกซิเจน ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือด ปูก้ามหัก

Corresponding author. E-mail: nongnud@buu.ac.th

Abstract

The oxygen consumption rates and haemolymph osmolality of *Macrophtahalus teschi* collected from Angsila, Chonburi were studied. The experimental crabs have average carapace width of 17.6 ± 2.1 mm and average weight of 1.51 ± 0.22 g. Crabs were acclimated in 30 ppt seawater for one week before performing experimentation. It has been found that rates of oxygen consumption of crabs increased with increasing or decreasing salinities. At 27 °C, the oxygen consumption rates of crabs weighed 1 g were 11.51, 6.49, 3.61, 4.24 and 6.46 µmol/h at salinity 0, 10, 20, 30 and 40 ppt respectively.

Time course of haemolymph osmolality of crabs exposed to media at 0, 5, 10, 20, 30, 40 ppt and in the air were measured at 0, 3, 6, 12, 24, 48 hr and after two days back into 30 ppt seawater using vapour pressure osmometer. It has been found that all crabs died within 3 hr in freshwater or salinity at 0 ppt. Haemolymph osmolalities of crab in 5, 10, 20, 30, 40 ppt seawater and in the air at 48 hr were 595±21, 629±47, 718±36, 930±10, 1095±35 และ 1093±37 mOsM/kg respectively. After two days back into 30 ppt seawater, heamolymph osmolality exposed at 5, 10, 20, 30, 40 ppt and in the air were 944±23, 951±20, 943±22, 935±23, 939±22 and 949±22 mOsM/kg, respectively. There were not significantly different (p<0.05) from haemolymph osmolality of crabs at 0 hr. *Macrophthalmus teschi* showed hyper-hypo osmoregulation and their isoosmotic point was about 850 mOsM/kg (26 ppt).

Keyword : salinity, oxygen consumption, blood osmolality, *Macrophtahalus teschi*

บทนำ

ปัจจุบันพื้นที่ของจังหวัดที่ตั้งอยู่แถบชายฝั่งทะเลทั้งในอ่าวไทยและอันดามันได้ถูกเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นสถานที่ท่องเที่ยว ท่าเทียบเรือ เหมืองแร่ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ หรือแม้แต่สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตัวอย่างที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด ซึ่งถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นเขตอุตสาหกรรมและสถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (แววเนตร คังคายะ, 2530) ส่งผลกระทบทำให้ระบบนิเวศเกิดการเปลี่ยนแปลงมากมาย เช่น มีการปล่อยน้ำเสียหรือระบายน้ำร้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่ทะเล ทำให้น้ำทะเลบริเวณที่มีการปล่อยน้ำร้อนออกมามีอุณหภูมิสูงขึ้น ความเค็มลดลง ส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายและความชุกชุมของสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่ง การนำเอาหินและทรายจากบริเวณอื่นมาถมหาดทรายหรือถมทะเลเพื่อเป็นแหล่งท่องเที่ยว ส่งผลกระทบต่อแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำชายฝั่ง รวมถึงการสืบพันธุ์ การเจริญเติบโต และระบบต่างๆ ภายในร่างกายสัตว์ทะเลทุกชนิดที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นจึงต้องมีการปรับตัวและปรับกลไกต่างๆ ของร่างกาย เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป

ปูก้ามหักเป็นปูที่อยู่ในครอบครัว Ocypodidae สกุล *Macrophthalmus* อาศัยอยู่ตามป่าชายเลนหรือหาดทรายที่มีดินปนโคลนที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยอินทรีย์สาร มีความสำคัญต่อระบบนิเวศป่าชายเลนและเขตน้ำขึ้นน้ำลงในฐานะผู้ย่อยสลายใบไม้และซากเศษอินทรีย์สารต่างๆ อีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมระบบสมดุลของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศดังกล่าว นอกจากนี้ยังสามารถเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศนั้นๆ ได้อีกด้วย ในธรรมชาติการดำรงชีวิตปูก้ามหักขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งภายในและภายนอกร่างกาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำจะส่งผลให้ปริมาณแร่ธาตุในน้ำแตกต่างไปจากเดิม ปูจึงต้องปรับสมดุลของระบบต่างๆ ในร่างกายให้เหมาะสม ซึ่งการปรับตัวดังกล่าวส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบสรีรวิทยาต่างๆ ของร่างกาย เช่น อัตราการบริโภคออกซิเจนอาจลดลงหรือเพิ่มขึ้น และระดับค่าออสโมลาลิตี้ (osmolality) ในเลือดอาจคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของความเค็มที่เปลี่ยนแปลงไป (Willmer *et al*., 2000)

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างเฉียบพลันต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหัก เพื่อดูความสามารถของปูก้ามหักในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของปูก้ามหักมากขึ้น และข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานการศึกษาชีววิทยา สรีรวิทยา และการศึกษาด้านอื่นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในแง่ของการการอนุรักษ์ทรัพยากรปูชนิดนี้ให้คงอยู่ และทำหน้าที่เป็นห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศหาดโคลนและระบบนิเวศป่าชายเลนต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สัตว์ทดลอง

สัตว์ที่ใช้ทดลอง คือ ปูก้ามหัก (*Macrophtahalus teschi*) จำนวน 85 ตัว ที่รวบรวมได้จากบริเวณหาดโคลน อ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ปูที่นำมาทดลองมีขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ย 17.6 ± 2.1 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.51 ± 0.22 กรัม นำมาปรับสภาพ (acclimation) ไว้ในบ่อที่มีความเค็มน้ำ 30 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 27 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนนำมาทำการทดลอง

การเตรียมน้ำสำหรับใช้ในการทดลอง

นำน้ำทะเลจากบ่อเก็บน้ำในโรงเพาะเลี้ยงภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งมีความเค็มอยู่ในช่วงประมาณ 30-35 ส่วนในพันส่วน มาใช้เตรียมน้ำที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน เพื่อเป็นน้ำ stock สำหรับใช้ในการทดลองปรับสภาพปูและใช้เตรียมน้ำที่มีระดับความเค็มต่างๆ สำหรับการทดลองวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนและการทดลองวัดค่าออสโมลาลิตี้ของเลือด สำหรับการเตรียมน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่า 30 ส่วนในพันส่วน จะเตรียมโดยการเจือจาง (dilute) ด้วยน้ำประปา ตามสัดส่วน ส่วนน้ำที่มีความเค็ม 40 ส่วนในพันส่วน จะเตรียมโดยการปล่อยน้ำทิ้งไว้ให้ระเหย (evaporation) หลังจากเตรียมน้ำที่ความเค็มต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จะทำการวัดค่าความเค็มของน้ำโดยละเอียดอีกครั้งหนึ่งโดยใช้เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายหรือออสโมมิเตอร์ชนิดแรงดันไอระเหย (vapour pressure osmometer) ซึ่งค่าความเข้มข้นที่ได้จะมีหน่วยเป็น มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 1

การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจน

นำปูก้ามหักที่ทำการปรับสภาพแล้วมาทดลองวัดอัตราการบริโภคออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในพันส่วน โดยใช้

ตารางที่ 1 ค่าออสโมลาลิตี้ของน้ำที่ระดับความเค็มต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ความเค็มน้ำ (ส่วนในพันส่วน)	ค่าออสโมลาลิตี้ (มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม)
0	43
5	159
10	318
20	636
30	973
40	1275

เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (oxygen meter, Strathkelvin Instrument, Model 781) ซึ่งประกอบด้วย ห้องหายใจ (respiration chamber) ขนาดปริมาตร 750 มิลลิลิตร ที่มีออกซิเจนอิเลคโทรดติดอยู่ และต่อเข้ากับเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน ทำการทดลองโดยนำปูก้ามหักมาใส่ในห้องหายใจที่บรรจุน้ำที่มีความเค็มระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง โดยน้ำที่ใช้จะผ่านการพาสเจอร์ไรท์เรียบร้อยเพื่อกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ติดมากับน้ำและอาจใช้ออกซิเจนร่วมกับปูที่ทำการทดลอง น้ำที่อยู่ห้องหายใจนี้ถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 27 องศาเซลเซียส โดยแช่อยู่ในอ่างน้ำไหลเวียนแบบควบคุมอุณหภูมิ ตลอดเวลาของการทดลอง ปล่อยให้ปูก้ามหักปรับสภาพในห้องหายใจดังกล่าวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของปูก้ามหัก โดยบันทึกค่า Po_2 จากเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในขณะเริ่มต้นและสุดท้ายของการทดลอง เป็นระยะเวลา 40 นาที เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้นำปูก้ามหักมาซับน้ำออกจากตัวให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง และวัดขนาดความกว้างของกระดองโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์

นำค่าผลต่างของ Po_2 ในขณะเริ่มต้นและสุดท้ายของการทดลอง และน้ำหนักของปูก้ามหักมาคำนวณหาอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลาโดยใช้สูตร

$$Mo_2 = \Delta Po_2 \times a \times v \times 60/t \quad \mu mol/h$$

และหาอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยน้ำหนักโดยใช้สูตร

$$Mo_2/W = \frac{\Delta Po_2 \times a \times v \times 60/t}{W} \quad \mu mol/g/h$$

เมื่อ ΔPo_2 = ผลต่างของ Po_2 ในขณะเริ่มต้นและสุดท้ายของการทดลอง

a = สัมประสิทธิ์การละลายของออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิและความเค็มที่ใช้ในการทดลอง (ไมโครโมลต่อลิตรต่อมิลลิเมตรปรอท)

v = ปริมาตรของน้ำในห้องหายใจ (ลิตร)

t = เวลาที่ใช้ในการทดลอง (นาที)

W = น้ำหนักของปูก้ามหักที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

นำค่าที่คำนวณได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลา (Mo_2) ซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ออกมาในรูปของสมการเส้นตรง จากนั้นเปลี่ยนสมการเส้นตรงให้อยู่ในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นของอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลา ดังนี้

$$Mo_2 = aW^b$$

เมื่อ a = ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราการบริโภคออกซิเจนของปูที่มีน้ำหนัก 1 กรัม

b = ค่าคงที่ ซึ่งเป็นค่าความชันของกราฟ โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-0.9

W = น้ำหนักของปูก้ามหักที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

จากสมการข้างบนสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบอัตราการบริโภคออกซิเจนของปูก้ามหักที่มีน้ำหนัก 1 กรัม ในแต่ละระดับความเค็ม ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลา ที่ระดับความเค็มต่างๆ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Analysis of covariance (ANCOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย LSD Test

การวัดค่าออสโมลาลิตี้ของเลือด

นำปูก้ามหักที่ปรับสภาพเรียบร้อยแล้วในน้ำที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน มาใส่ในน้ำความเค็มแตกต่างกัน 6 ระดับคือ 0, 5, 10, 20, 30 (กลุ่มควบคุม) และ 40 ส่วนในพันส่วน ส่วนกลุ่มสุดท้ายอีกหนึ่งกลุ่มให้อยู่ในน้ำความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน แต่ปูสามารถโผล่พ้นน้ำขึ้นมาหายใจได้ใช้ปูกลุ่มละ 5 ตัว ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 27 ± 1 องศาเซลเซียส ทำการเจาะเลือดวัดค่าออสโมลาลิตี้ที่เวลา 0, 3, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำปูที่ถูกเจาะเลือดไปเลี้ยงไว้ที่ความเค็มน้ำ 30 ส่วนในพันส่วน เป็นระยะเวลา 2 วัน แล้วนำมาเจาะเลือดวัดค่าออสโมลาลิตี้อีกครั้ง

ในการวัดค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูนั้น ก่อนที่จะทำการวัดต้องปรับ (calibration) เครื่องก่อนการใช้ทุกครั้ง โดยใช้น้ำยามาตรฐานออสโมลาลิตี้ เมื่อปรับเครื่องเรียบร้อยแล้วนำปูที่ต้องการวัดที่ระดับความเค็มน้ำต่างๆ 6 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10, 20, 30, 40 ส่วนในพันส่วน และโผล่พ้นน้ำ (air) มาวัดค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปู โดยใช้ผ้าซับน้ำบนตัวปูออกจนแห้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนน้ำจากรอบตัวปู จากนั้นเจาะเลือดที่บริเวณโคนของระยางค์ใส่ลงในหลอดเก็บตัวอย่างเลือด นำตัวอย่างเลือดปริมาตร 10 µl หยดลงในเครื่องออสโมลมิเตอร์ชนิดความดันไอระเหย ระหว่างเจาะเลือดและหยดลงในเครื่องนั้นต้องกระทำด้วยความรวดเร็ว เพราะเลือดปูจะแข็งตัวเร็วเมื่ออยู่ภายนอกตัวปู นำปูที่เจาะเลือดแล้วไปชั่งน้ำหนักและวัดขนาด บันทึกผลข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปู หน่วยเป็นมิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ทำการเจาะเลือดวัดค่าออสโมลาลิตี้ที่เวลา 0, 3, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง จากนั้นนำปูที่ถูกเจาะเลือดไปเลี้ยงไว้ที่ความเค็มน้ำ 30 ส่วนในพันส่วน เป็นระยะเวลา 2 วัน แล้วนำมาเจาะเลือดวัดค่าออสโมลาลิตี้อีกครั้ง นำข้อมูลของค่าออสโมลาลิตี้ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนระหว่างกลุ่มด้วย analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย LSD Test

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

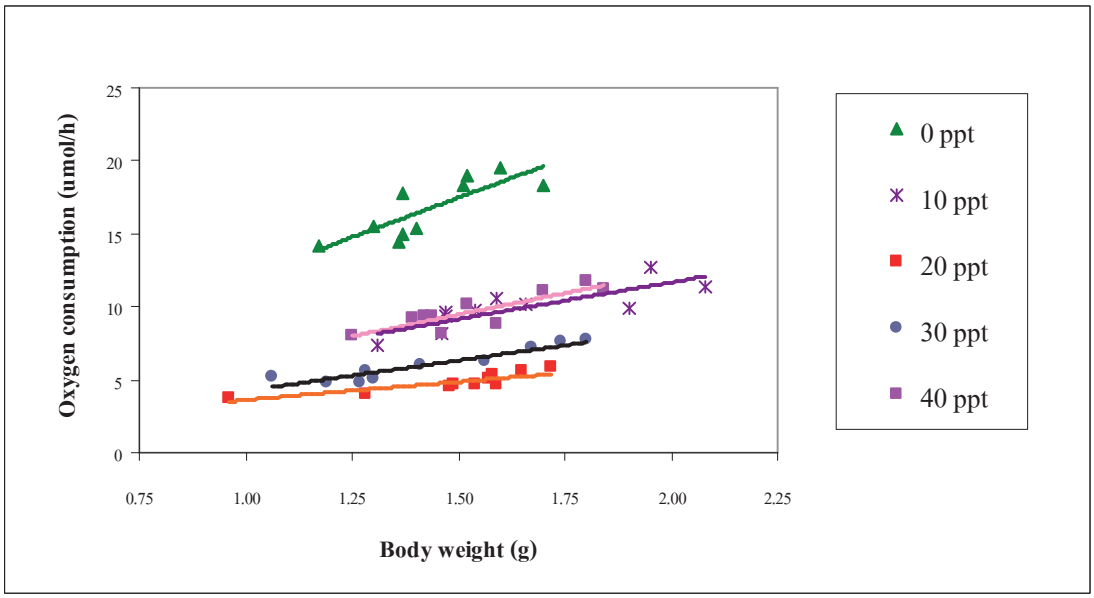
การบริโภคออกซิเจนของปูก้ามหัก

จากการศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปูก้ามหักที่ระดับความเค็มต่างๆ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในพันส่วน ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส พบว่า แนวโน้มอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลา (Mo_2) และอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยน้ำหนัก (Mo_2/W) มีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากๆ ซึ่งที่ระดับความเค็ม 0 ส่วนในพันส่วน มีค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงที่สุด และที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน มีค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยอัตราการบริโภคออกซิเจน (Mo_2) ที่ระดับความเค็มต่างๆ ที่ได้จากการทดลองถูกนำมาสร้างกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 1 อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของอัตราการบริโภคออกซิเจนดังกล่าวในตารางที่ 2 ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอัตราการบริโภคออกซิเจนที่ระดับความเค็มต่างๆ ได้ ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอัตราการบริโภคออกซิเจนของปูก้ามหักจะอยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น ดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของสมการที่ได้ในแต่ละระดับความเค็ม โดยใช้สถิติแบบ Analysis of covariance (ANCOVA) พบว่า สมการถดถอยเชิงเส้นของอัตราการบริโภคออกซิเจนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนัก ความยาว อัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลา (Mo_2) และอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยน้ำหนัก (Mo_2/W) ที่ระดับความเค็มต่างๆ

ระดับความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	n	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	Mo_2 (ไมโครโมลต่อชั่วโมง)	Mo_2/W (ไมโครโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง)
0	10	1.43 ± 0.15	1.51 ± 0.51	16.75 ± 2.02	11.72 ± 0.81
10	10	1.66 ± 0.24	1.70 ± 0.06	9.90 ± 1.48	5.99 ± 0.51
20	10	1.49 ± 0.22	1.66 ± 0.11	4.83 ± 0.66	3.27 ± 0.27
30	10	1.43 ± 0.25	1.57 ± 0.19	6.04 ± 1.17	4.23 ± 0.33
40	10	1.54 ± 0.19	1.67 ± 0.19	9.72 ± 1.31	6.31 ± 0.43



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปูก้ามหักกับอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลา (Mo_2) ที่ระดับความเค็มต่างๆ ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 สมการถดถอยเชิงเส้นของอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยเวลา ($Mo_2 = aW^b$) ของปูก้ามหัก ที่ระดับความเค็มต่างๆ

ระดับความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	$Mo_2 = aW^b$	R^2
0	$^{a}11.51W^{0.9261}$	0.6779
10	$^{b}6.49W^{0.8475}$	0.6901
20	$^{c}3.61W^{0.7352}$	0.7831
30	$^{d}4.24W^{0.9632}$	0.8308
40	$^{b}6.46W^{0.9397}$	0.7247

หมายเหตุ อักษรยกกำลังที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ยกเว้นที่ระดับความเค็ม 10 และ 40 ส่วนในพันส่วน สมการถดถอยเชิงเส้นของอัตราการบริโภคออกซิเจนไม่มีความแตกต่างกัน

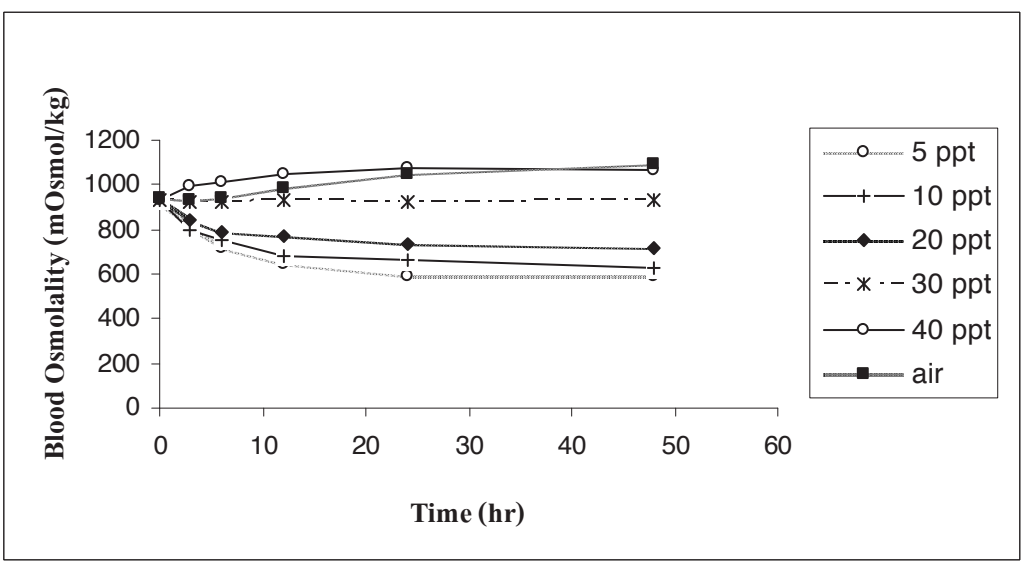
จากตารางที่ 3 อัตราการบริโภคออกซิเจนที่ได้จากสมการถดถอยคือ อัตราการบริโภคออกซิเจนของปูน้ำหนัก 1 กรัม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.51, 6.49, 3.61, 4.24 และ 6.46 ไมโครโมลต่อชั่วโมง ที่ความเค็ม 0, 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในพันส่วน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเค็มที่ 20 ส่วนในพันส่วน อัตราการบริโภคออกซิเจนมีค่าต่ำสุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าระดับความเค็มดังกล่าว น่าจะเป็นระดับความเค็มที่เหมาะสมที่สุดในการดำรงชีวิตของปูก้ามหัก การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนของสัตว์ที่ระดับความเค็มต่างๆ สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องชี้วัดถึงระดับความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตได้ หากความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงที่สูงขึ้นหรือต่ำลงกว่าสภาพปกติแล้ว อัตราการบริโภคออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย การบริโภคออกซิเจนในสภาวะของน้ำที่มีความเค็มเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีการบริโภคออกซิเจนที่สูงขึ้นนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านเหงือกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการหายใจมีความถี่สูงขึ้นเพื่อนำออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการควบคุมสมดุลของน้ำและเกลือแร่ในร่างกาย (Taylor, 1977)

Kinne (1964) กล่าวว่า ในสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความเค็มแตกต่างกันนั้น พบว่าหากน้ำที่อาศัยอยู่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็ม สัตว์เหล่านี้ก็สามารถดำรงชีวิตอยู่ในบริเวณดังกล่าวได้ โดยเฉพาะสัตว์ในกลุ่มที่อาศัยอยู่บริเวณปากแม่น้ำหรือเขตน้ำขึ้น-น้ำลงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มตลอดเวลา สัตว์เหล่านี้มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพความเค็มที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำได้ โดยกระบวนการควบคุมสมดุลของน้ำและเกลือแร่ (Mantel & Farmer, 1983) เนื่องจากปูก้ามหักนี้อาศัยอยู่บริเวณหาดโคลนหรือป่าชายเลนซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลง ความเค็มที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากฝนตก น้ำทิ้งจากร้านอาหาร และการสูญเสียน้ำ ทำให้ปูเหล่านี้มีการปรับตัวเพื่อให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปและดำรงชีวิตต่อไปได้ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างเฉียบพลันต่อการบริโภคออกซิเจนของปูก้ามหัก นับว่าเป็นพื้นฐานทางการศึกษาทางด้านสรีรวิทยาของปูก้ามหัก เนื่องจากความเค็มจะส่งผลกระทบต่อหน้าที่และโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตโดยตรง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสารภายในร่างกายทั้งหมด สัดส่วนของสารละลาย สัมประสิทธิ์การดูดซับและการอิ่มตัวของก๊าซที่ละลายในน้ำ การเดินทางของเสียงและสภาพการนำไฟฟ้า และความเค็มจะส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตทางอ้อมได้โดยการเปลี่ยนแปลงชนิดขององค์ประกอบทางระบบนิเวศ (Kinne, 1964)

ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหัก

จากการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหัก พบว่า ปูที่ถูกนำมาเลี้ยงไว้ที่ระดับความเค็มน้ำ 0 ส่วนในพันส่วน จะตายหมดภายในเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนที่ระดับความเค็มน้ำ 5, 10 และ 20 ส่วนในพันส่วน ค่าออสโมลาลิตี้จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปอย่างต่อเนื่อง โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้นมีแนวโน้มคงที่หลังจาก 24 ชั่วโมง ขณะที่ระดับความเค็ม 40 ส่วนในพันส่วน และโผล่พ้นน้ำ ค่าออสโมลาลิตี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และมีแนวโน้มคงที่หลังจาก 24 ชั่วโมง ส่วนที่ระดับความเค็มน้ำ 30 ส่วนในพันส่วน มีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกช่วงเวลา ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติ พบว่าค่าออสโมลาลิตี้ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ของทุกระดับความเค็มและที่โผล่พ้นน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่า ค่าออสโมลาลิตี้เริ่มคงที่ที่เวลา 24 ชั่วโมง ในทุกระดับความเค็มน้ำและที่โผล่พ้นน้ำ (ภาพที่ 2)

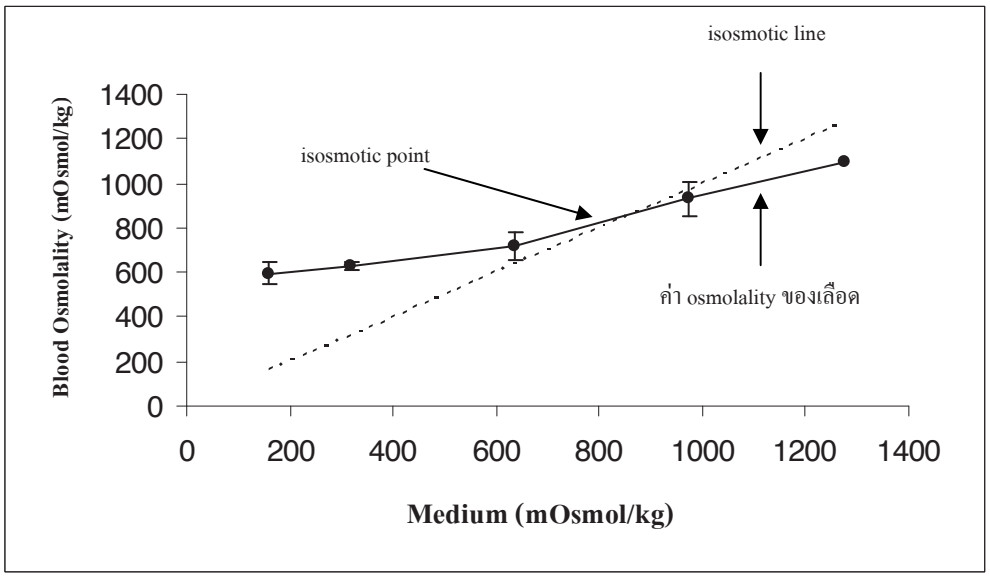
ในช่วงเวลา 0 ถึง 48 ชั่วโมง ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพันส่วน พบว่าค่าออสโมลาลิตี้ลดลงจาก 926±23 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เหลือ 595±21 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับที่ความเค็ม 10 ส่วนในพันส่วน และ 20 ส่วนในพันส่วน ค่าออสโมลาลิตี้ลดลงจาก 937±28 และ 936±27 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เหลือ 629±47 และ 718±36 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 2 ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหักที่ระดับความเค็มน้ำต่างๆ และที่โผล่พ้นน้ำ

อย่างไรก็ตามที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง (ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูที่ระดับความเค็ม 5, 10 และ 20 ส่วนในพันส่วน เท่ากับ 594±33, 673±51 และ 730±28 ; 595±21, 629±47 และ 718±36 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ค่าออสโมลาลิตี้จะค่อนข้างคงที่ ส่วนที่ระดับความเค็มน้ำ 40 ส่วนในพันส่วน ค่าออสโมลาลิตี้เพิ่มขึ้นจาก 935±28 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เป็น 1095±35 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม และค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูที่โผล่พ้นน้ำก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับที่ระดับความเค็มน้ำ 40 ส่วนในพันส่วน คือ จาก 937±24 เป็น 1093±37 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่อนข้างคงที่หลังจาก 24 ชั่วโมง

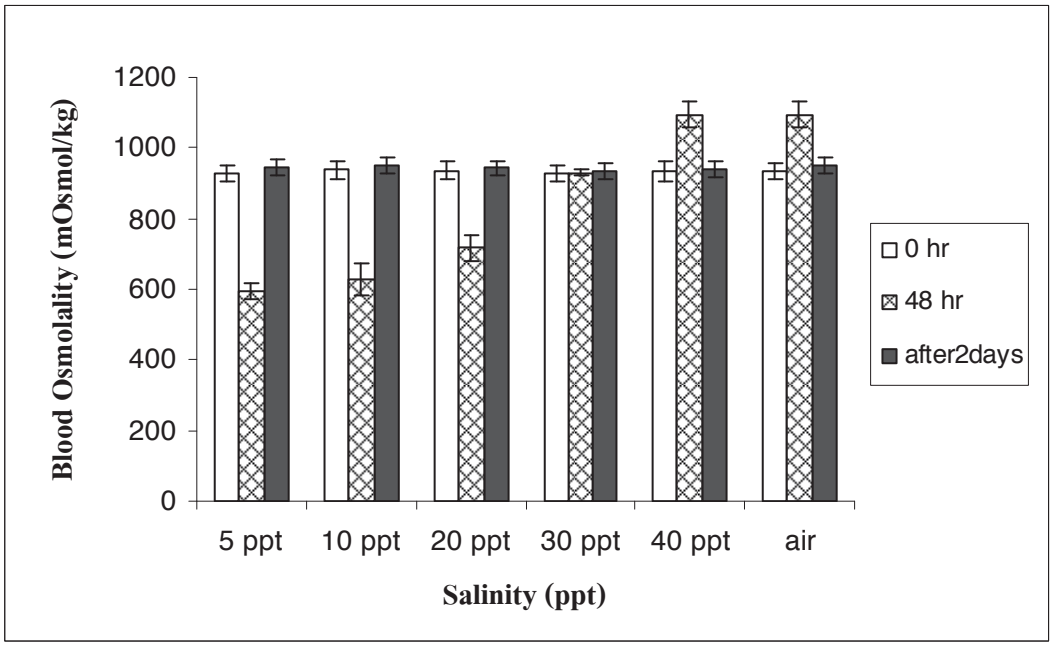
ค่าออสโมลาลิตี้ที่เวลา 48 ชั่วโมง ระดับความเค็มน้ำ 5 ส่วนในพันส่วน มีค่าออสโมลาลิตี้ต่ำที่สุด (595±21 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม) เมื่อเทียบกับระดับความเค็มน้ำอื่นๆ และในระดับความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าออสโมลาลิตี้จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ความเค็ม 40 ส่วนในพันส่วน (1,095±35 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม) โดยที่ระดับความเค็มน้ำ 5 และ10 ส่วนในพันส่วน มีค่าออสโมลาลิตี้ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่แตกต่างกัน และที่ระดับความเค็มน้ำ 40 ส่วนในพันส่วนและที่โผล่พ้นน้ำนั้นไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นพบว่า เมื่อนำปูก้ามหักมาไว้ในน้ำที่มีความเค็มต่ำ (0-<850 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม) ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดจะสูงกว่าน้ำ และเมื่อนำปูมาไว้ในความเค็มที่สูงขึ้น (>850-1275 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม) ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดจะต่ำกว่าน้ำ ซึ่งมีค่า isosmotic point อยู่ที่ประมาณ 850 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหักที่ระดับความเค็มของน้ำต่างกันที่เวลา 48 ชั่วโมง

เมื่อนำปูก้ามหักที่ระดับความเค็มน้ำต่างกันที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง และหลังจากนำกลับมาไว้ที่ความเค็มน้ำปกติเป็นเวลา 2 วัน พบว่า ระดับความเค็มน้ำ 5, 10, 20, 30, 40 ส่วนในพันส่วน และโผล่พ้นน้ำ พบว่าเมื่อเริ่มต้น (0 ชั่วโมง) จะมีค่าออสโมลาลิตี้ใกล้เคียงกัน คือ 926±23, 937±28, 936±27, 930±22, 935±28 และ 937±24 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไปค่าออสโมลาลิตี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเค็มน้ำ โดยที่ 48 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 595±27, 629±47, 718±36, 930±10, 1095±35 และ 1093±37 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากนำกลับมาไว้ที่ระดับความเค็มน้ำปกติเป็นเวลา 2 วัน แล้วเจาะเลือดวัดค่าออสโมลาลิตี้อีกครั้งหนึ่ง พบว่ามีค่าออสโมลาลิตี้เท่ากับ 944±23, 951±20, 943±22, 935±23, 939±22 และ 949±22 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยค่าออสโมลาลิตี้ที่เวลา 48 ชั่วโมง จะแตกต่างกับที่ 0 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันกับค่าออสโมลาลิตี้หลังจาก 2 วันในน้ำปกติ ดังภาพที่ 4

การเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหัก โดยเมื่อระดับความเค็มน้ำเพิ่มขึ้นค่าออสโมลาลิตี้จะเพิ่มขึ้นด้วย ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องภายใน



ภาพที่ 4 ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูก้ามหักที่ระดับความเค็มน้ำต่างกัน ที่เวลา 0, 48 ชั่วโมง และหลังจากนำกลับมาไว้ที่ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน เป็นเวลา 2 วัน

24 ชั่วโมง หลังจากนำมาไว้ที่ระดับความเค็มต่างๆ และค่าออสโมลาลิตี้ค่อนข้างคงที่หลังจาก 24 ชั่วโมง ซึ่งในการทดลองของ Santos & Moreira (1999) ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตี้และแร่ธาตุต่างๆ ในเลือดปู *Ocypode quaddrata* ที่เวลา 3, 6 และ 12 ชั่วโมง พบว่าปู *O. quaddrata* เริ่มมีการปรับตัวหลังจาก 6 ชั่วโมง และรูปแบบการรักษาสมดุลของเหลวในร่างกายเป็นแบบ hyper-hypo osmoregulation สำหรับปูที่โผล่พ้นน้ำจะมีค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดสูงกว่าปกติแม้จะอยู่ในความเค็มน้ำ 30 ส่วนในพันส่วนก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Santos & Moreira (1999) อีกเช่นเดียวกัน ที่พบว่าปูที่โผล่พ้นน้ำ (32 ส่วนในพันส่วน) จะมีค่าออสโมลาลิตี้สูงขึ้นกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากการที่ปูโผล่พ้นน้ำเป็นเวลานานทำให้ปูต้องสูญเสียน้ำออกจากตัวไป จึงส่งผลให้ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดเพิ่มขึ้น ซึ่งในสภาพปกติตามธรรมชาติแล้วปูที่อาศัยอยู่ในเขตน้ำขึ้นน้ำลงจะหลบเลี่ยงการสูญเสียน้ำออกจากร่างกายเมื่อเวลาน้ำลงและต้องสัมผัสกับอากาศโดยการขุดรูอยู่และดูดซึมน้ำจากดินในรูมาใช้ รวมถึงลดการซึมผ่านของเหลวออกตัว

รูปแบบการรักษาสมดุลของเหลวในร่างกายของปูก้ามหักจะเป็นแบบ hyper-hypo osmoregulation เนื่องจากปูก้ามหักนี้อาศัยอยู่บริเวณหาดโคลนหรือป่าชายเลนซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความกดอากาศ และความเค็มที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากฝนตก น้ำทิ้งจากร้านอาหารและการสูญเสียน้ำ ทำให้ปูเหล่านี้ต้องมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปและดำรงชีวิตต่อไปได้ ในขณะที่น้ำลงจะส่งผลให้ปูมีการสูญเสียน้ำออกจากร่างกายมากขึ้นทำให้ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดสูงขึ้น ส่วนในขณะที่น้ำขึ้นปูก้ามหักจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนต่างๆ กับน้ำทะเล โดยในขณะที่ปูอยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำจะแสดงสภาวะเป็น hyperosmotic และเมื่ออยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูงจะแสดงสภาวะเป็น hyposmotic มี isosmotic point อยู่ที่ประมาณ 850 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม (เท่ากับ 26 ส่วนในพันส่วน) ซึ่งคล้ายคลึงกับ Chen & Lin (1994) ได้ทดลองเลี้ยงกุ้ง *Penaeus chinensis* โดยปรับสภาพที่ 30 ส่วนในพันส่วน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ก่อนนำมาเลี้ยงในความเค็มที่ 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในพันส่วน จากนั้นนำมาเจาะเลือดหาค่าออสโมลาลิตี้ที่เวลา 1, 2, 5 และ 10 วัน พบว่าระดับความเค็มน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตี้ ในเลือดกุ้ง *P. chinensis* โดยที่ 25 ส่วนในพันส่วน เป็นจุดสมดุล ซึ่งกุ้งจะปรับตัวเป็น hyper-osmotic ที่ความเค็มน้ำต่ำกว่าจุด isosmotic และจะปรับตัวเป็น hyposmotic ที่ความเค็มสูงกว่าจุดสมดุล ซึ่งเมื่อระดับความเค็มน้ำเพิ่มขึ้นค่าออสโมลาลิตี้ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

Thurman (2003) ได้ทำการศึกษาค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดของปูสกุล *Uca* ทั้งหมด 6 สปีชีส์ ได้แก่ *U. spinicarpa, U. panacea, U. pugilator, U. minax, U. longisignalis* และ *U. rapax* ที่เก็บจากบริเวณ Mississippi Delta ทางเหนือของอ่าวเม็กซิโกเลี้ยงที่ระดับความเค็ม 30-3450 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม (1-110 ส่วนในพันส่วน) พบว่าปูทั้ง 6 สปีชีส์ มีการปรับตัวแบบ hyper/hypo-osmoregulation โดยเมื่ออยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่า 600 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดจะสูงกว่าน้ำ และเมื่ออยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูงกว่า 800 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดจะต่ำกว่าน้ำ มี isosmotic point อยู่ที่ 682, 822, 816, 659, 693 และ 769 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อนำปูก้ามหักจากความเค็มน้ำต่างๆ กลับมาไว้ที่ความเค็มน้ำ 30 ส่วนในพันส่วน จะเห็นว่าค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดกลับมามีค่าใกล้เคียงกับที่เริ่มต้น (0 ชั่วโมง) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวต่อความเค็มของปูก้ามหัก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดจะเกี่ยวข้องกับการซึมผ่านเข้าออกของน้ำจากภายนอกและภายในตัวสัตว์ที่มีความเข้มข้นของสารละลายที่ต่างกันทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตัวสัตว์และน้ำภายนอก โดยการทำงานของเยื่อเลือกผ่านและกระบวนการออสโมซิส ทั้งนี้ยังขึ้นกับประสิทธิภาพการปรับสมดุลของของเหลวระหว่าง intracellular และ extracellular ให้มีค่าใกล้เคียงกันด้วย การปรับตัวเพื่อรักษาสมดุลของของเหลวในร่างกายจะเกิดขึ้นได้เร็วในสัตว์ที่เป็น euryhaline species (Santos & Moreira, 1999) ทั้งนี้การที่สัตว์จะรักษาสมดุลเกลือแร่ไว้ได้นั้น จะต้องมีการดึงพลังงานที่มีมาใช้อย่างมาก เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารหรือระดับของค่าความเข้มข้นของเลือด (osmolality) ไว้ให้ได้มากที่สุด โดยมีกลไกการขับน้ำออกจากร่างกายและในขณะเดียวกันก็จะมีการดูดกลับเกลือแร่ไว้ภายในร่างกายเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นไว้ (Potts and Parry, 1964) เพื่อลดการสูญเสียเกลือแร่ออกจากร่างกายโดยการลดขนาดเยื่อเลือกผ่านให้มีขนาดเล็กลง และเพื่อการเก็บรักษาปัสสาวะซึ่งมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นองค์ประกอบให้ปริมาตรคงที่ รวมทั้งปรับระดับ hydrostatic pressure ภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ (Mantel & Farmer, 1983)

สรุปผลการศึกษา

การเปลี่ยนแปลงความเค็มมีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดของปูก้ามหัก โดยความเค็มของน้ำที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากความเค็มน้ำปกติที่ปูอาศัยอยู่จะส่งผลให้อัตราการบริโภคออกซิเจนมีค่าสูงขึ้นจากปกติ ทั้งนี้เนื่องจากปูต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการรักษาสมดุลของร่างกายให้คงที่ ซึ่งเห็นได้จากค่าออสโมลาลิตีของเลือดที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งสอดคล้องกับอัตราการบริโภคออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเค็มเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารอ้างอิง

แววเนตร คังคายะ. (2530). *การศึกษาอนุกรมวิธานและการกระจายของปูชายฝั่งภาคตะวันออกของไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒบางแสน. 229 หน้า

Chen, J.C. and Lin, J.L. (1994) Osmolality and chloride concentration in the haemolymph of subadult *Penaeus chinensis* subjected to different salinity levels. *Aquaculture* 125, 167-174.

Kinne, O. (1964). The effect of temperature and salinity on marine and brackish water animals. *Oceanography and Marine Biology:An Animal Review*, 2, 281-339.

Mantel, L.H. and Farmer, L.H. (1983). Osmotic and Ionic Regulation. In L.H. Mantel (ed.), *Biology of Crustacea, Vol 5. Internal Anatomy and Physiological Regulation*. New York: Academic Press, 53-161.

Potts, W.T. and Parry, G. (1964). *Osmotic and ionic regulation in animal*. International Series of Monographs on Pure and Appilied Biology. Oxford : Pengamon Press, 423 pp.

Santos, M.C.F. and Moreira, G.S. (1999). Time course of osmoionic compensation to acute salinity exposure in the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 235, 91-104.

Taylor, A.C. (1977). The respiratory responses of *Carcinus maenus* (L.) to change in environmental salinity. *Journal of Experimental Marine Biolog and Ecologyy*, 29, 197-210.

Thurman, C. (2003). Osmoregulation by six species of fiddler crabs (*Uca*) from the Mississippi delta in the Northen Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 291, 233-253.

Willmer, P.G, Stone, G.N. and Johnston, L.A. (2000) *Environmental Physiology of Animals*. Blackwell Science Ltd., Osney Mead, Oxford, London, 644 pp.