การตรวจเอกสาร

1.ลักษณะทั่วไปของปูทะเล

ชีววิทยาของปูดำ

อนุกรมวิธาน

Phylum Mollusca

Class Crustacea

Family Portunidae

Genus *Scylla*

ปูทะเลมีส่วนประกอบของโครงสร้างส่วนหัวกับอกรวมกันเรียกว่า cephalo throrax ส่วนนี้จะมีกระดองห่อหุ้มไว้ ลักษณะภายนอกที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน คือ ลำตัวของปูได้วิวัฒนาการโดยเปลี่ยนแปลงไปเป็นแผ่นบางๆ เรียกว่า "จับปิ้ง" พับอยู่ใต้กระดอง จับปิ้งเป็นอวัยวะที่ใช้เป็นที่อุ้มพยุงไข่ของแม่ปู (ในระยะที่มีไข่นอกกระดอง) นอกจากนี้ยังเป็นอวัยวะที่ใช้แยกเพศได้อีกด้วย กล่าวคือ ในเพศเมียจับปิ้งจะมีลักษณะกว้างปลายมนกลมกว่าเพศผู้ ซึ่งมีรูปเรียวและแคบ กระดองของปูทะเลมีลักษณะเป็นรูปไข่และมีหนามเรียงจากตาไปทางด้านซ้าย-ขวาของกระดองด้านละ 9 อัน ตาของปูทะเลเป็นตารวมประกอบด้วยตาเล็กๆ เป็นจำนวนมากมีความรู้สึกไวต่อสิ่งเคลื่อนไหวอยู่รอบตัวและยังมีก้านตาช่วยในการชูลูกตาออกมาภายนอก และหดกลับเข้าไปได้ทำให้มันมองเห็นสิ่งต่างๆรอบตัวได้อย่างดียิ่งขึ้นปูทะเลมีขา 5 คู่ ขาคู่แรกอยู่หน้าสุดมีขนาดใหญ่มาก เป็นพิเศษเรียกว่า "ก้ามปู" ปลายก้ามปูแยกออกเป็น 2 ง่ามมีลักษณะคล้ายคีมใช้จับเหยื่อกินและป้องกันตัว ปลายสุดของขาคู่ที่ 2-4 มีลักษณะแหลมเรียกว่า "ขาเดิน" เพราะทำหน้าที่ในการเดินเคลื่อนที่ ส่วนขาคู่ที่ 5 ซึ่งเป็นคู่สุดท้ายเรียกว่า "ขาว่ายน้ำ" ตอนปลายสุดของขาคู่นี้มีลักษณะแบนคล้ายใบพาย ซึ่งธรรมชาติสร้างมาให้เพื่อความสะดวกในการว่ายน้ำปูทะเล มีเลือดสีฟ้าใสๆ มีสารประกอบพวกทองแดงปนอยู่ในเลือดเมื่อได้รับบาดเจ็บ เช่นกระดองแตก หรือก้ามหลุด เลือดใสๆ จะไหลออกมามีลักษณะข้นๆ เมื่อโดนความร้อนจะกลายเป็นสีขาวขุ่นคล้ายครีมสำหรับอวัยวะภายในทั้งหมด ได้แก่ หัวใจ กระเพาะอาหาร ระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ ฯลฯ จะรวมกันอยู่ภายในกระดอง (วิสันต์,2532)

ปูทะเลพบกระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำกร่อย ป่าชายเลน และปากแม่น้ำที่มีน้ำทะเลท่วมถึงโดยขุดรูอยู่ตามใต้รากไม้หรือซอกหินบริเวณชายฝั่งทะเลทั้งฝ่ายอ่าวไทยและอันดามัน โดย

เฉพาะที่ชุกชุมในบริเวณที่เป็นหาดโคลนหรือเลนที่มีป่าแสม และโกงกาง ตั้งแต่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก อันได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด ชลบุรีบริเวณอ่าวไทยตอนใน ได้แก่ สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงครามและ อ่าวไทยฝั่งตะวันตกมีชุกชุมที่จังหวัดชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ นครศรีธรรมราช สงขลา ตรัง ฝั่งอันดามันพบบริเวณจังหวัดระนอง กระบี่ พังงา และสตูล เป็นต้น (รัชฎา,2532)

2.การลอกคราบ

การลอกคราบของพวกครัสตาเชียนจะเกิดขึ้นตลอดชีวิต (Barnes, 1980) โครงสร้างของเปลือกปูสามารถแบ่งออกเป็นชั้นๆประกอบด้วย

ผิวชั้นนอก (epidermis) เป็นชั้นที่มีเซลล์ขนาดใหญ่ ภายในเซลล์ประกอบด้วยรงค์พาหะ (cromatophore) ทำให้เซลล์มีสี ผิวชั้นนอกตั้งอยู่บนเยื่อฐาน (basement membrane)

เคลือบผิวชั้นใน (endocutcle) ชั้นนี้ประกอบด้วยชั้นเยื่อ 3 ชั้น โดยมีชั้นเม็ดสี (pigmentallayer) อยู่บนสุดติดกับชั้นเครือบผิว และ ชั้นเยื่อบุ (membranous membrane) อยู่ล่างสุดติดกับเซลล์ epithelium โดยมีชั้นหินปูนอยู่ตรงระหว่างกลาง

ชั้นเครือบผิว(epicuticle) เป็นเปลือกที่อยู่ชั้นนอกสุด ประกอบด้วยไลโพโปรตีน (lipoprotien)

การลอกคราบของปูทะเลถ้าพิจารณาจากการสร้างผิวชั้นนอก ชั้นเครือบผิว ชั้นเม็ดสี การถอยกลับของชั้นเม็ดสีและการแยกตัวของเปลือกใหม่และเปลือกเก่าสามารถแบ่งออกได้ 5 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 กระดองนิ่ม: stage A

เป็นระยะที่ปูลอกคราบกระดองใหม่ เหี่ยวย่น ลื่น ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสี และชั้นเยื่อบุต่างๆ จะติดเป็นชั้นเดียวกัน ระยะนี้ปูไม่กินอาหารระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 1.5% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ A-1 (newly molt): กระดองนิ่มมาก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ขายังไม่แข็ง เคลื่อนที่ไม่ได้ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 0.5% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ A-2 (soft): กระดองเริ่มแข็ง นำหนักตัวคงที่ น้ำหยุดซึมเข้าตัว น้ำในตัวมีประมาณ 86% ระยะนี้ใช้เวลา 1.0% ของการลอกคราบ

ระยะที่ 2 กระดองเริ่มแข็ง: stage B (paper shell)

กระดองใหม่เริ่มแข็ง(De Fur, 1990) เคลือบผิวชั้นในระหว่างเริ่มการพัฒนามีลักษณะหนาและแข็ง ชั้นเม็ดสีเริ่มมีการกลับสู่สีเดิม ยังไม่กินอาหาร ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 8.0% ของช่วงการลอกคราบสามารถแบ่งออกเป็นสองระยะ

ระยะ B-1: ชั้นหินปูนของเคลือบผิวชั้นในเริ่มพัฒนา ขาแข็งขึ้น น้ำในตัวมีประมาณ 85% ระยะนี้ใช้เวลา 3.0% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ B-2: ชั้นเม็ดสีถอยกลับ ชั้นหินปูนเริ่มพัฒนากว้างขึ้น ขาและเปลือกเริ่มแข็ง น้ำในตัวมีประมาณ 83% ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 5.0% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 3 เปลือกแข็ง: stage C (intermolt)

กระดองมีความแข็งเต็มที่ ผิวชั้นนอกของเปลือกสมบูรณ์ชั้นเม็ดสีถอยกลับไปอยู่บริเวณฐานปลายสุดของขน (seatea) เก่า ผิวชั้นนอกมีการหดกลับ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 66% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-1: เริ่มมีการกินอาหาร ชั้นเม็ดสีกว้าง ขาต่างๆ แข็งเกือบปกติ ในตัวมีน้ำประมาณ 80% ระยะนี้ใช้เวลา 8.0% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-2: ชั้นเม็ดสีกว้างขึ้น ขาต่างๆ แข็ง เปราะง่าย น้ำในตัวมีประมาณ 76% ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 13% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-3: ชั้นเม็ดสีกว้างขึ้นมากกว่าระยะที่ C-2 น้ำในตัวมีประมาณ 68% ระยะนี้ใช้เวลา 15% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-4: เป็นระยะสุดท้าย การพัฒนาของชั้นเม็ดสีสมบูรณ์ มีการถอยร่นกลับเข้าไป ในระยะนี้ปูกินอาหารปกติ การเคลื่อนไหวว่องไวมาก ดุร้าย เริ่มมีการสะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่จำเป็นในการลอกคราบ น้ำในตัวมีประมาณ 60% ระยะนี้ใช้เวลา 30% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 4 ก่อนการลอกคราบ (stage D)

กระดองมีความแข็งเต็มที่ เปลือกสมบูรณ์ เป็นระยะที่ปูสะสมอินทรีย์สารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการลอกคราบ เช่น แคลเซียม เพื่อใช้ในการลอกคราบต่อไป กินอาหารน้อย การเคลื่อนไหวช้ามาก ปริมาณน้ำในตัวมีประมาณ 50-60% ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 24% ของช่วงการลอกคราบ สามารถแบ่งเป็น 4 ระยะย่อยคือ

ระยะ D-1: ผิวชั้นนอกของเปลือกใหม่เริ่มมีการพัฒนา เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเก่า ทำให้เกิดชั้นของเปลือกใหม่ขนานไปกับเปลือกเก่า เปลือกที่สร้างใหม่ปริมาณน้ำที่เข้าในตัวระยะนี้คงตัวระยะนี้ใช้เวลา 15% ของการลอกคราบ

ระยะ D-2: ช่องว่างระหว่างเปลือกใหม่และเปลือกเก่ากว้าง ขนบนชั้นเคลือบผิวอันใหม่เริ่มพัฒนาให้เห็นเป็นเส้นเล็กๆ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 5.0% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ D-3: เปลือกใหม่มีการพัฒนาสมบูรณ์ เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเริ่มแตก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ใช้เวลาประมาณ 1.0% ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 5 ลอกคราบ: stage E (molting)

เป็นระยะที่ปูสลัดกระดองทิ้ง น้ำถูกดึงเข้าตัวอย่างรวดเร็ว ไม่เคลื่อนที่ ไม่กินอาหารเป็นช่วงเวลาวิกฤติที่สุดของปูทะเล เพราะอ่อนแออาจถูกสัตว์อื่นทำร้ายหรือกินเป็นอาหารได้ง่ายใช้เวลา 0.5% ของช่วงการลอกคราบ

ปัจจัยที่มีอิทธพลต่อการลอกคราบ

2.1 ปัจจัยภายนอก

แสง: ถ้าปูอยู่ในสภาพที่มีแสงน้อย ระยะการลอกคราบจะสั้นลงกว่าการได้รับแสงมาก

อุณหภูมิ: อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราการลอกคราบและขบวนการควบคุมการลอกคราบทั้งทางตรงและทางอ้อม เพราอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเผาผลาญพลังงาน กระบวนการลอกคราบของปูจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

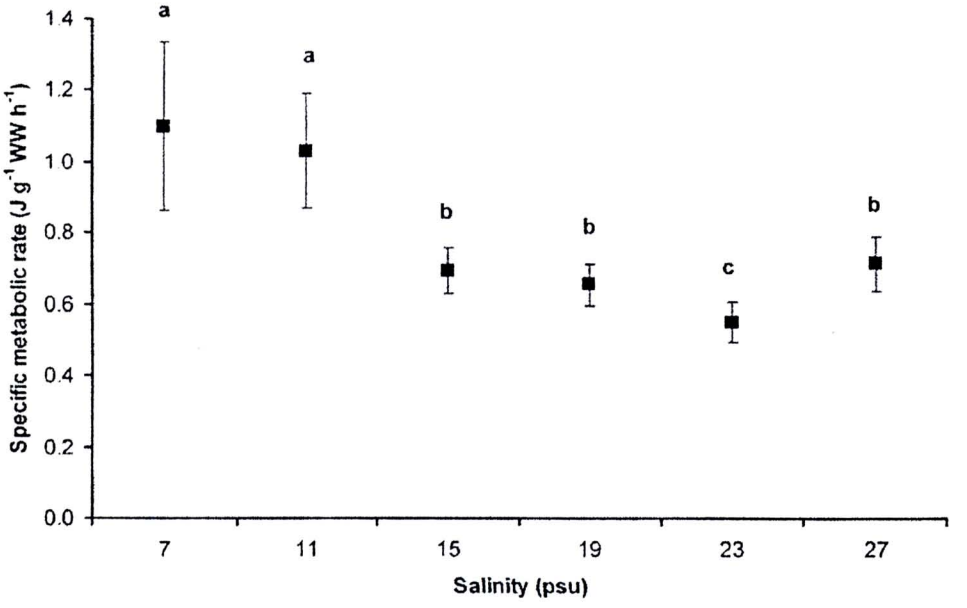
ความเค็ม: ในน้ำที่มีความเค็มสูงจะมีช่วงการลอกคราบที่ยาวกว่าในน้ำความเค็มต่ำ

2.2 ปัจจัยภายใน

ปัจจัยภายในที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบของปูคือ ระบบฮอร์โมนในร่างกาย การได้รับการผสมพันธุ์ การมีปาราสิตเกาะตามตัวหรือรยางค์ การสูญเสียรยางค์ และการรับอาหารไม่เพียงพอเป็นต้น (http://www.crab-trf-.com/sea-crab.phb)

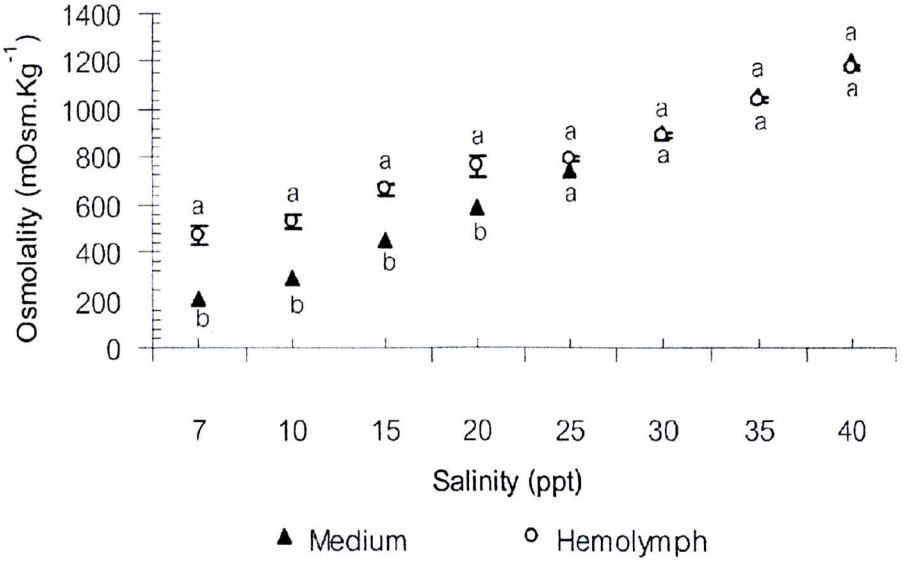
3.การปรับระดับของความเค็มที่ส่งผลต่ออัตราเมทาบอลิซึม

สรีวิทยาของปูทะเลซึ่งมีกลไกในการแลกเปลี่ยนสารที่อยู่ภายในตัวกับสิ่งแวดล้อมภายนอกตัวเพื่อเป็นการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมนั้นได้ จะเกิดขึ้นบริเวณเหงือก จากการศึกษาของ Pratoomchat et al. (2002) เกี่ยวกับความเค็มพบว่าผลต่อกิจกรรม Na^+ K^+ ATPase บริเวณเหงือกของปูทะเล ที่ระดับความเค็มต่างๆพบว่า เหงือกเป็นอวัยวะที่ทำหน้าในการแลกเปลี่ยนไอออนโดยกระบวนการ haemolymph osmolality ในปูทะเลที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมภายนอกตัวมีโซเดียมไอออนสูงและภายในเซลล์มีโพแทสเซียมไอออนสูงทำให้ปูทะเลต้องมีการปรับสมดุลร่างกายโดยมีเยื่อหุ้มเซลล์เป็นตัวขนส่งโซเดียมไอออนออกภายนอกและดึงโพแทสเซียมไอออนเข้าภายในจากการศึกษา ทดลองกับปูดำที่ระดับความเค็ม 3 ระดับ ที่มีผลต่อค่า haemolymph osmolality โดยปูจะมีการปรับตัวเพื่อให้เหมาะกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนแปลงความเค็มทำให้ปริมาณแอมโมเนียมากขึ้นส่งผลต่อค่า haemolymph osmolality ในเซลล์ เมื่อมีการรบกวนของแอมโมเนียในปริมาณมากจะมาแทนที่โพแทสเซียมซึ่งจะทำให้ขบวนการกลายเป็นการนำโซเดียมเข้าภายในและขับแอมโมเนียออกภายนอกและระดับของโพแทสเซียมในกระแสเลือดลดลงทำให้เกิดการสูญเสียการดูดซึมของไอออน



ภาพที่ 1 แสดงผลการปรับระดับของความเค็มที่ส่งผลต่ออัตราเมทาบอลิซึม
ที่มา: Masui et al. (2003)

นอกจากผลของความเค็มจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดยังมีผลต่ออัตราเมทาบอลึซึม (ภาพที่ 2) การเปลี่ยนแปลงปริมาณ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีนในพลาสมาของปูที่ปรับสภาพภายใต้ความเค็มน้ำ 8 ระดับ (7-40 ppt) พบว่าออสโมลาลิตี้และคลอรีน มีค่าแปรผันตามระดับความเค็มโดยมีสภาวะ hyper osmotic, iso osmotic และ hypo osmotic ที่ระดับความเค็มน้ำ 7-29 ppt, 30 ppt และ 31-40 ppt ตามลำดับ ปูดำสามารถควบคุมปริมาณแร่ธาตุได้ดีในช่วงความเค็ม 10-35 ppt และสามารถปรับสภาพ และควบคุมค่าออสโมลาลิตี้ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตได้ดีในช่วง 25-40 ppt จากผลการทดลองเสนอแนะได้ว่าช่วงความเค็ม 25-35 ppt น่าจะเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปูดำ (Masui et al.,2003)



ภาพที่ 2 แสดงผลออสโมลาริตี้ที่ส่งผลต่อการปรับค่าความเค็ม
ที่มา: Mantel and Farmer. (1983)

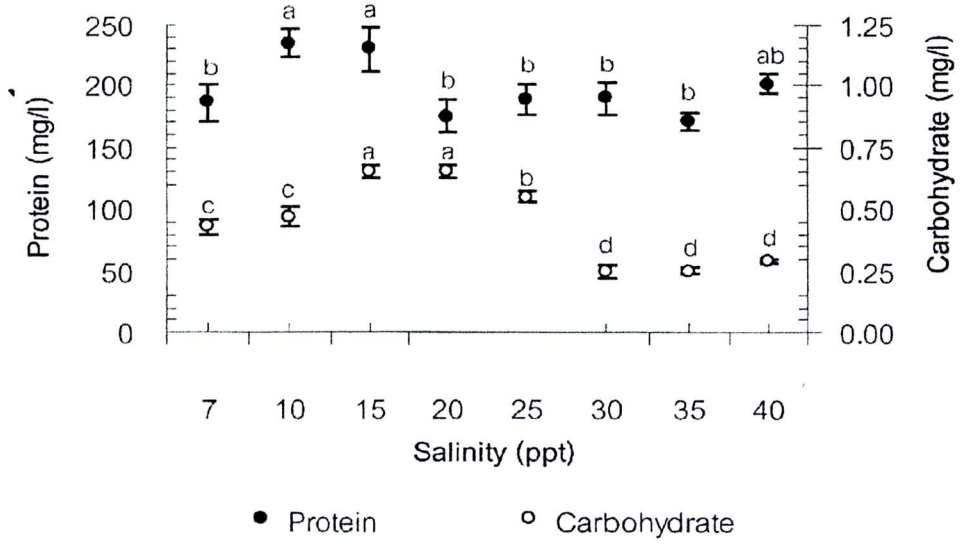
ค่าออสโมลาลิตี้ของเลือดปูดำมีค่าสูงขึ้นแปรผันตามระดับความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้นโดยจะมีค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดสูงกว่าค่าออสโมลาลิตี้ของน้ำ (hyper regulation) ที่ระดับความเค็มน้ำ 7 ppt จนถึงระดับความเค็ม 27 ppt จากนั้นค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดจะเท่ากับออสโมลาลิตี้ของน้ำ (iso-osmotic point) ที่ช่วง 27-32 ppt หลังจากนั้นเมื่อความเค็มสูงขึ้นปูจะมีการปรับตัวให้มีค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดต่ำกว่าค่าออสโมลาลิตี้ของน้ำ (hyposmoregulation) ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับปู *Callinectes sapidus* (Mantel and Farmer, 1983) ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าปูดำสามารถรักษาระบบสมดุลเกลือแร่ได้ดีช่วงระดับความเค็ม 25-35 ppt ในขณะที่ระดับความเค็ม 25 ppt ถึง 10 ppt ปูดำสามารถปรับตัวได้ดีพอสมควร และพยายามรักษาสมดุลเกลือแร่ภายในร่างกายให้มีความเข้มข้นสูงกว่าภายนอก โดยชี้ให้เห็นว่าค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดปูดำสูงกว่าน้ำถึง 2.3 เท่าที่ความเค็ม 7 ppt และมีแนวโน้มไม่น่าจะลดค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดไปกว่าระดับนี้มากนัก คาดว่าไม่น่าจะต่ำไปกว่า 400 mOsm/kg อาจจะกล่าวได้ว่าความเค็มที่ต่ำกว่านี้น่าจะเป็นจุดวิกฤตในการดำรงชีวิตของปูดำทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างระหว่างค่าออสโมลาลิตี้ในเลือดกับน้ำภายนอกที่มีค่าสูงขึ้น จะส่งผลโดยตรงกับการใช้พลังงานในการรักษาสมดุล และเกิดสภาวะเครียด

โดยทั่วไปแล้วเมื่อปูทะเลเผชิญกับสภาวะความเค็มน้ำต่ำ น้ำภายนอกร่างกายจะเข้าสู่ร่างกายปู ทำให้ความเข้มข้นของแร่ธาตุภายในร่างกายลดลง ปูจึงมีกระบวนการควบคุมการเข้าออกของน้ำเพื่อรักษาระดับสมดุลเกลือแร่และน้ำ (osmotic balance) นอกจากนี้ปูจะมี

กระบวนการดูดกลับแร่ธาตุเข้าสู่ภายในให้เข้าสู่สมดุล โดยมีการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่านให้มีขนาดเล็กลง และเพิ่มการเก็บสะสมปัสสาวะเพื่อปรับระดับแรงดันน้ำในร่างกาย (hydrostatic pressure) ให้อยู่ในสภาวะปกติ (Mantel and Farmer, 1983) การใช้พลังงานเพื่อปรับความเข้มข้นของเกลือแร่ในร่างกายให้อยู่ในสภาวะสมดุล ดังกล่าวของปูมีความสัมพันธ์กับการทำงานของเอนไซม์ Na^+/K^+-ATPase โดยกิจกรรมของเอนไซม์ Na^+/K^+-ATPase มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อสัตว์ถูกย้ายไปสู่น้ำที่มีความเค็มต่ำ (Mantel and Farmer, 1983) เพื่อควบคุมระดับแร่ธาตุโดยเฉพาะอย่างยิ่ง Na^+ และ K^+

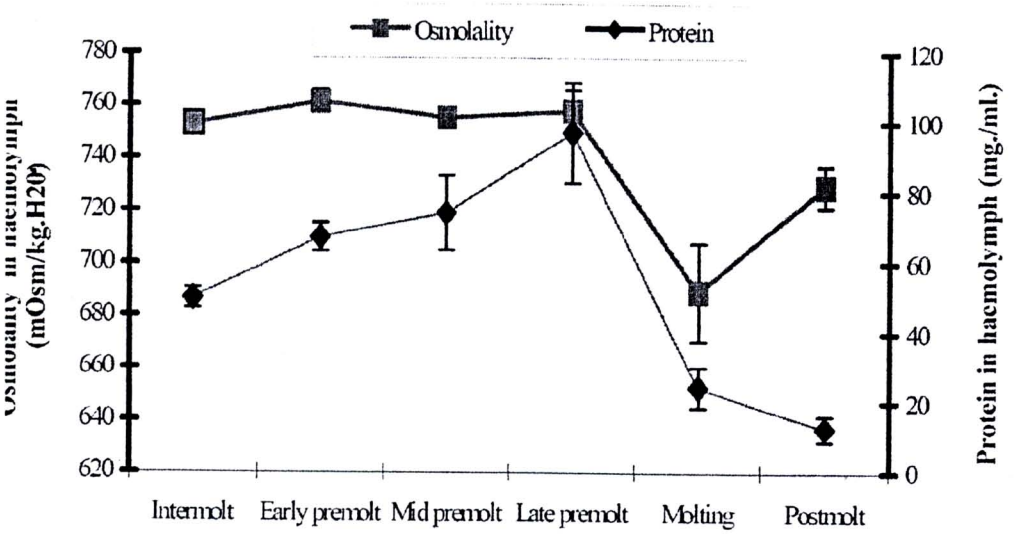
4.การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในเลือดของปูในสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มต่างกัน

ความเข้มข้นของโปรตีนจะมีค่าคงที่ช่วงความเค็ม 20-40 ppt ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีค่าคงที่ช่วงความเค็ม 30-40 ppt (ภาพที่ 4) คาดว่าน่าจะเป็นช่วงความเค็มปกติที่พบในปูม้า ซึ่งปูจะสามารถนำโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต และการสร้างเปลือกใหม่ (sclerotinization) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีไกลโคสะมิโนไกลแคน (glycosaminoglycans) เป็นตัวสำคัญที่เหนี่ยวนำให้เกิดการตกผลึกของ Ca (calcification) และจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่เป็นน้ำภายนอกมีความเป็นด่างเล็กน้อย (Pratoomchat et al., 2002)



ภาพที่ 3 ชนิดปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในพลาสมาปูที่สภาพแวดล้อมมีความเค็มต่างกัน
ที่มา: Mangum and Johansen. (1976)

ความเข้มข้นของโปรตีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเค็ม 10-15 ppt ในขณะที่คาร์โบไฮเดรตมีค่าสูงขึ้นเมื่อเผชิญกับความเค็ม 15-25 ppt เนื่องจากปูอยู่ในสภาพน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าร่างกาย (hypomedium) ส่งผลให้ปูมีอัตราเมตาโบลิซึมสูงขึ้นจนเกิด respiratory acidosis ทำให้ของเหลวในร่างกายมีสภาวะเป็นกรดเกิดการละลาย (dissolution) โครงสร้างเปลือกซึ่งเป็น chitin-protein ได้กรดอะมิโน และกลูโคสเพื่อนำมาชดเชยการสูญเสียเกลือแร่ และใช้เป็นพลังงานในการปรับสมดุลเกลือแร่ (osmoregulation) ด้วยกระบวนการ active transport เช่นเดียวกับการลดลงของกรดอะมิโนในเนื้อเยื่อของปู *C. sapidus* ที่ถูกปรับสภาพให้อยู่ในน้ำที่มีความเค็มลดลงจากเดิม 50% (850 mOsm./ kg) ซึ่งโดยกลไกดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับปูทะเล (*Scylla serrata*) และปูเขียว (*Carcinus maenas*) (Taylor *et al.*, 1977) แต่เมื่อความเค็มลดลงถึง 7ppt ปูจะมีปัญหากับระบบสมดุลเกลือแร่ในร่างกายเนื่องจากมีการลดลงของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตอย่างมาก ซึ่งน่าจะเกิดจากการเจือจาง (dilution) จากน้ำภายนอก และเกิดการสูญเสียไปกับกระบวนการใช้พลังงานในการรักษาสมดุลเกลือแร่ นอกจากนี้ (Mangum *et al.*1976) พบว่าปูจะมีการใช้พลังงานเพื่อปรับสภาพความสมดุลเกลือแร่อย่างมากเมื่อความเค็มน้ำภายนอกมีระดับต่ำหรือสูงเกินไป (osmotic stress) ส่งผลให้ระดับ NH_3 ในเลือดของปู *C. sapidus* (Mangum and Johansen. (1976) เช่นเดียวกับในกล้ามเนื้อของปู *Eriocheir sinensis* ที่มีค่าสูงขึ้นอีกด้วย



ภาพที่ 4 แสดงผลออสโมลาริตี้ที่ส่งผลต่อการปรับค่าโปรตีน

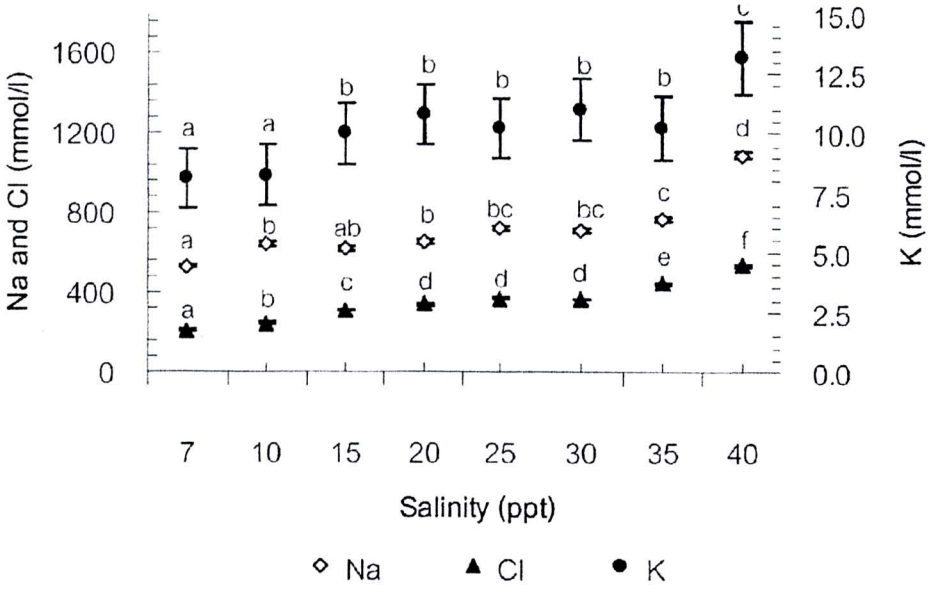
ที่มา: Mangum and Johansen. (1976)

ปูทะเลขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ย 71 มิลลิเมตร ระยะคราบแข็ง (stage C) ปราศจากก้าม ที่ระดับความเค็มน้ำ 5, 10, 15, 20, และ 25 ppt (และเพิ่ม 30, 35 และ 40 ppt สำหรับ

การศึกษาออสโมลาลิตี้) ระยะเวลา 75 วัน เพื่อทำการตรวจสอบขบวนการลอกคราบอัตรารอดและการเปลี่ยนแปลงทางสรีระเคมีของปูทะเล ความเค็มมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไกลโคสอะมิโนไกลแคน ออสโมลาลิตี้ โซเดียม คลอรีน โปแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง ซัลเฟอร์ และแคลเซียม ในพลาสมาปูทะเล โดยพบว่ามีระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นตามความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้นยกเว้นฟอสฟอรัส โดยแมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แมงกานีส ทองแดง และแคลเซียม จะมีค่าลดลงที่ความเค็มน้ำ 25 ppt ซึ่งการเพิ่มขึ้นของธาตุส่วนมากในเลือดตามความเค็มนั้นส่งผลให้ปริมาณธาตุที่พบในเปลือกเพิ่ม ยกเว้นทองแดง ปูที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม (20-25 ppt) จึงเป็นความเค็มที่เหมาะสมต่อกลไกการสร้างเปลือกและเนื้อเยื่อของปูทะเล (Masui et al.,2003) ซึ่งพบมีจำนวนปูลอกคราบสูงสุด (100%) ที่ความเค็มน้ำ 20 ppt ขณะที่ปูที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 5 ppt ใช้ระยะเวลาในการลอกคราบ (36 ± 4 วัน) สั้นกว่าปูที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 25 ppt (47 ± 4 วัน) ซึ่งเป็นการสนับสนุนว่าที่ความเค็มน้ำที่ต่ำมีส่วนช่วยสนับสนุนการละลายเปลือกเก่าในปูชนิดนี้ อย่างไรก็ดี ขนาดปูหลังลอกคราบ และการตายของปูทะเลของการเลี้ยงทุกระดับความเค็มน้ำไม่พบความแตกต่างกัน

5.การเปลี่ยนแปลงปริมาณ โซเดียม โพแทสเซียม และ คลอรีน ในพลาสมา

Na มีค่าความเข้มข้นสูงสุดทุกระดับความเค็มโดยแร่ธาตุที่มีค่ารองลงมา ได้แก่ Cl และ K ซึ่งความเข้มข้นแปรผันตามระดับความเค็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าสูงสุดที่ระดับความเค็ม 40 ppt มีค่าเท่ากับ 1,093 mmol/l, 536 mmol/l และ 13.19 mmol/l ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นต่ำสุดอยู่ที่ความเค็ม 7 ppt ซึ่งค่า 531 mmol/l, 208 mmol และ 8.12 mmol/l ตามลำดับรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแร่ธาตุดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับปู *S. serrata* (Pratoomchat *et al.*, 2002) ปู *C. sapidus* (Henry and Cameron, 1982) ปู *Ocypode quadrata* และปู *C. maenas* (Lovett *et al.*, 2001)



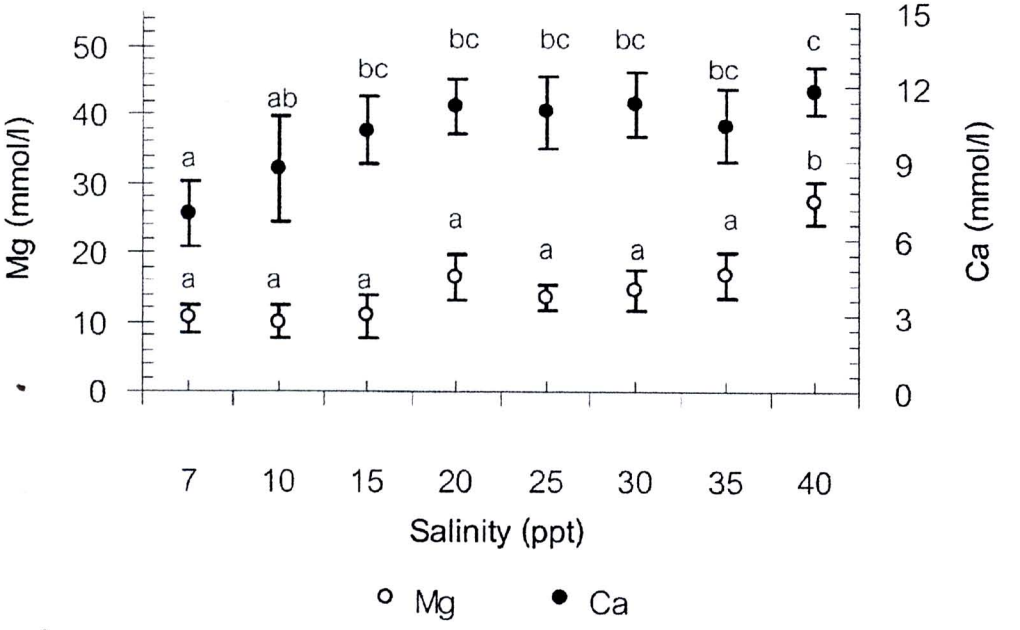
ภาพที่ 5 ผลโซเดียมและคลอไรด์ต่อการปรับค่าความเค็มในเลือดปูทะเล

ที่มา: Mantel and Farmer (1983)

การเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มนี้จะส่งผลกระทบต่อระบบสรีระ และการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุภายในตัวของครัสเตเชียน รวมถึงการตอบสนองที่เกิดขึ้นจะมีความเหมือนหรือแตกต่างกันนั้นก็ขึ้นกับชนิดของครัสเตเชียนนั้นๆ เป็นที่ทราบกันดีว่า Na และ Cl เป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในเลือดของครัสเตเชียน โดยมีปริมาณมากกว่า 90% ของแร่ธาตุทั้งหมด ดังนั้น Na และ Cl จึงจัดเป็น แร่ธาตุที่ช่วยรักษาสมดุลไอออนของเลือด กล่าวคือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ Na และ Cl ในน้ำก็จะส่งผลให้สมดุลไอออนของเลือดเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Mantel and Farmer, 1983) จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าปูดำมีความสามารถในการควบคุมการรักษาสมดุลของ Cl ได้ดีเนื่องจากมีการปรับค่าความเข้มข้นของ Cl ให้แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ Cl ในน้ำ และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ Na และ K พบว่าปูดำจะพยายามปรับให้คงที่ได้ในระดับหนึ่งในช่วงความเค็ม 25-30 ppt เนื่องจากธาตุทั้งสองชนิดมีความสำคัญต่อกระบวนการปรับสมดุลเกลือแร่ และการนำกระแสประสาท โดยพฤติกรรมดังกล่าวคล้ายคลึงกับปู *Crangon crangon* (Hargerman and Uglow, 1982) และปู *Goniopsis cruentata* (Zanders,1978) แต่เมื่อความเค็มลดลง หรือเพิ่มขึ้นจากนี้ปูจะปรับสภาพร่างกายให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำภายนอกตามไปด้วย

6.การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียม และแคลเซียมในพลาสมาของปู

ปริมาณของ Mg และ Ca ในพลาสมาปูดำมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ระดับความเค็ม 40 ppt คือ 27.16 mmol/l และ 11.85 mmol/l ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณของ Mg และ Ca ที่เพิ่มขึ้นจากระดับความเค็มน้ำ 7-35 ppt และ 10-35 ppt



ภาพที่ 6 ผลแมกนีเซียมและแคลเซียมต่อการปรับค่าความเค็มในเลือดปูทะเล

ที่มา: Pratoomchat *et al.*, (2002)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้ว่าความเค็มน้ำจะมีค่าลดลง หรือเพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามปูจะพยายามรักษาปริมาณความเข้มข้นของ Mg และ Ca ให้คงที่โดยปูดำจะควบคุมระดับ Mg ไม่ให้สูงเกินไปนักเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น และน่าจะรักษาระดับไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 10 mmol/l แม้ว่าความเค็มจะลดลงเท่าใดก็ตามที่ปูดำสามารถมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า Mg น่าจะเป็นแร่ธาตุที่เป็นปัจจัยจำกัดสำหรับปูดำในการดำรงชีวิต และสรีระเคมีในร่างกาย ในขณะที่ความเค็ม 15-7 ppt ปริมาณ Ca ในพลาสมาจะถูกเจือจาง ทำให้มีค่าความเข้มข้นต่ำลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แม้ว่าปูจะพยายามควบคุมระดับ Ca แต่ปูจะยอมสูญเสีย Ca ได้บ้างเมื่อความเค็มลดลงระหว่าง 15-10 ppt และดูเหมือนว่าจะเริ่มสูญเสียการควบคุมเมื่อความเค็มต่ำลงมาถึง 7 pptโดยความเค็ม 10-35 ppt ปริมาณของ Ca ไม่น่าจะเป็นปัจจัยจำกัดของปูดำ กล่าวคือ Ca และ Mg เป็นแร่ธาตุหลักในกระบวนการสร้างเปลือก จึงพบว่ามีอยู่ในระบบเลือดน้อย (Pratoomchat *et al.*, 2002) ซึ่งหากมีมากเกินไปจะพยายามขับออกนอกร่างกาย อาจมีการเก็บไว้

ในอวัยวะจำเพาะ โดยมีค่าใกล้เคียงกับครัสเตเชียนชนิดอื่นๆ เช่น *C. sapidus*, *C. magister* และ *C. maenas* (Mantel and Farmer,1983) กล่าวโดยรวมแล้วการเปลี่ยนแปลงความเค็มส่งผลต่อระบบสมดุลเกลือแร่ในร่างกายปูดำโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเค็มต่ำ เลือดปูดำจะถูกเจือจาง จึงทำให้ระดับของ Na, K, Ca และ Cl ต่ำลง ส่งผลให้ปูดำต้องนำสารอินทรีย์จำพวกกรดอะมิโน และกลูโคสมาใช้เป็นพลังงานอย่างมากจากเปลือกและเนื้อเยื่อ เพื่อควบคุมระบบสมดุลเกลือแร่ในร่างกายให้อยู่ในระดับคงที่ และเหมาะสมกับการดำรงชีวิต อีกทั้งกรดอะมิโน และกลูโคสดังกล่าวยังเป็นการเพิ่มระดับออสโมลาลิตี้ภายในเลือด (colloidal osmotic pressure) ให้สูงขึ้นอีกด้วย (Mangum and Johansen, 1976) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางสรีระเคมีของปูดำพบว่าสามารถควบคุมปริมาณแร่ธาตุหลัก 4 ชนิด (Na, K, Mg และ Ca) ได้ดี ในขณะที่ Cl ปูสามารถควบคุมได้ดีที่สุด อาจกล่าวได้ว่าความเค็มที่มีความเป็นไปได้ในการเลี้ยงปูดำน่าจะอยู่ในช่วง 25-35 ppt อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าออสโมลาลิตี้ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตร่วมด้วยแล้ว ระดับความเค็มที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 25-35 ppt เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นค่อนข้างคงที่ กล่าวคือปูมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีระเคมีภายในร่างกายค่อนข้างต่ำ สามารถปรับออสโมลาลิตี้ได้ดีโดยไม่เกิดการสูญเสียพลังงานในการควบคุมสมดุลแร่ธาตุ จึงส่งผลให้สามารถนำพลังงานไปใช้ในการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 28 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 246471
เลขเรียกหนังสือ