ผลของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส ต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858)

นายนเรนทร์ฤทธิ์ ชิ้นฟัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effect of temperature, salinity and pH on oxygen consumption and heart rates of nudibranch, *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858)

Mr. Narainrit Chinfak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science
Department of Marine Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส ต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858)
โดย	นายนเรนทร์ฤทธิ์ ชิ้นฟัก
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศานิต ปิยพัฒนากร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุดมศักดิ์ ดรุมาศ)

นเรนทร์ฤทธิ์ ชิ้นฟัก : ผลของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส ต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858) (Effect of temperature, salinity and pH on oxygen consumption and heart rates of nudibranch, *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858)) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สุชนา ชวนิชย์, 45 หน้า.

อุณหภูมิ ความเค็มและความเป็นกรด-เบส จัดเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเผาผลาญพลังงานและพฤติกรรมการดำรงชีวิตของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858) ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลให้อัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด (เล็ก กลาง และใหญ่) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ ที่ระดับอุณหภูมิ 38 ºC ทากเปลือยมีอัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจสูงสุด และต่ำสุดที่ระดับอุณหภูมิ 18 ºC ในกรณีการศึกษาปัจจัยความเค็ม พบว่าระดับความเค็มที่สูงขึ้นและต่ำลงมีผลให้อัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด โดยพบว่าที่ระดับความเค็ม 20, 25 และ 35 ทากเปลือยมีอัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ระดับความเค็ม 40 ทากเปลือยมีอัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม สำหรับผลของความเป็นกรด-เบสที่ลดต่ำลงต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจ พบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยทากเปลือยขนาดเล็กมีอัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจที่สูงขึ้นที่ความเป็นกรด-เบสต่ำ (7.6 และ 7.8) ในขณะที่ทากเปลือยขนาดกลางและขนาดใหญ่มีอัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจที่เพิ่มสูงขึ้นที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.6 ทั้งนี้ อุณหภูมิ ความเค็มและความเป็นกรด-เบสที่ระดับแตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือยและเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทั่วไปจากภาวะที่ไม่เหมาะสมจนเกิดความเครียด ส่งผลให้มีพฤติกรรมการหยุดชะงัก (inactive) หรือเป็นการกระตุ้น (active) พฤติกรรมการเคลื่อนที่ การหายใจ และการสร้างเมือก เป็นต้น ทั้งนี้ อุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส มีผลต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายและพฤติกรรมของทากเปลือย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5572013923 : MAJOR MARINE SCIENCE
KEYWORDS: NUDIBRANCH, JORUNNA FUNEBRIS, TEMPERATURE, SALINITY, PH, OXYGEN CONSUMPTION, HEART RATE

NARAINRIT CHINFAK: Effect of temperature, salinity and pH on oxygen consumption and heart rates of nudibranch, *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858). ADVISOR: ASSOC. PROF. SUCHANA CHAVANICH, Ph.D., 45 pp.

Temperature, salinity, and pH are environmental factors that can have an influence on metabolic rates and behaviors of reef invertebrates. In this study, we investigated the effects of temperature, salinity and pH on the oxygen consumption rates and heart rates of nudibranchs, *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858). The results showed that oxygen consumption and heart rates of the nudibranchs in all size classes were increased with increasing temperature levels. In addition, from the experiments, difference salinity levels also affected both oxygen consumption and heart rates of nudibranchs in all size classes. However, at salinity 40, the oxygen consumption and heart rates of nudirbanchs are found to be lower than those of in the control. For pH experiments, the results revealed that changes in pH levels affected both oxygen consumption and heart rates of nudibranchs. When the pH levels were reduced to 7.6, the oxygen consumption rates and heart rates of all sizes classes increased. Moreover, temperature, salinity, and pH had effects on behaviors of nudibranchs. Those behaviors include reducing activeness, movement, and mucus production. In conclusions, temperature, salinity and pH can have effects on both physiology and behaviors of nudibranch.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Marine Science Student's Signature .....
Field of Study: Marine Science Advisor's Signature .....
Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศานิต ปิยพัฒนากร ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมศักดิ์ ดรุมาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติวงษ์ ตันติโชดก ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำการวิจัยตลอดจนแรงบันดาลใจ คติ และกำลังใจในการศึกษาต่อในครั้งนี้

ขอขอบคุณ โครงการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) และหน่วยสงครามพิเศษทางเรือ กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ ที่คอยอำนวยความสะดวกในการเข้าใช้สถานที่และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กองทัพเรือทุกท่านที่ช่วยเหลือในการปฏิบัติการภาคสนามให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ธรรมวานิช ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ขอบคุณ คุณนิติ วงเทพวานิชย์ คุณศุภกาญจ์ จันทร์แดง คุณวิภาดา ลลิตภัทรกิจ คุณทิพย์วิมล รัตนะวงวาล คุณพีรดนย์ เกิดผล คุณอภิรัตน์ นิลพนาพรรณและคุณขนิษฐา อุทัยพันธุ์ สำหรับคำแนะนำและความร่วมแรงร่วมใจในการปฏิบัติงาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับเงินทุนจาก “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการสนับสนุนงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญรูป ..... ญ
สารบัญตาราง ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 แนวเหตุผล ทฤษฎีที่สำคัญ หรือสมมติฐาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 3
2.1 ชีววิทยาของทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858) 3
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของทากเปลือย *Jorunna funebris* 4
2.1.2 ถิ่นที่อยู่อาศัยและการแพร่กระจาย 4
2.1.3 ความสำคัญของทากเปลือย 5
2.1.4 ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจของทากเปลือย 5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือย 7
2.2.1 อุณหภูมิ 7
2.2.2 ความเค็ม 8
2.2.3 ความเป็นกรด-เบส 9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 11
3.1 ชนิดของทากเปลือยที่ทำการศึกษา 11

หน้า

3.2 พื้นที่ศึกษา 12
3.3 การเก็บและการเตรียมตัวอย่าง 13
3.4 การทดลอง ชุดการทดลองและการเตรียมการทดลอง 14
3.4.1 การทดลองอุณหภูมิ 14
3.4.2 การทดลองความเค็ม 15
3.4.3 การทดลองความเป็นกรด-เบส 16
3.5 ขั้นตอนการทดลองและการประเมินผลการทดลอง 17
3.5.1 การศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจน 17
3.5.2 การศึกษาอัตราการเต้นหัวใจ 18
3.6 การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล 18
บทที่ 4 ผลการศึกษา 19
4.1 อุณหภูมิ 19
4.1.1 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย 19
4.1.2 ผลของความอุณหภูมิต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย 20
4.1.3 ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของทากเปลือย 21
4.2 ความเค็ม 23
4.2.1 ผลของความเค็มต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย 23
4.2.2 ผลของความเค็มต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย 24
4.2.3 ผลของความเค็มต่อพฤติกรรมของทากเปลือย 25
4.3 ความเป็นกรด-เบส 26
4.3.1 ผลของความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย 26
4.3.2 ผลของความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย 27
4.3.3 ผลของความเป็นกรด-เบสต่อพฤติกรรมของทากเปลือย 28

หน้า

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการศึกษา 29
5.1 อุณหภูมิ 29
5.2 ความเค็ม 31
5.3 ความเป็นกรด-เบส 33
รายการอ้างอิง 36
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของทากเปลือย โดย A) ทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858) และ B) ลักษณะสรีรวิทยาภายนอก 3

รูปที่ 2.2 ลักษณะที่อยู่อาศัยของทากเปลือย *Jorunna funebris* และฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp. 4

รูปที่ 2.3 ระบบไหลเวียนโลหิต และระบบการหายใจของทากเปลือย 6

รูปที่ 3.1 ทากเปลือยที่ใช้ในการทดลอง และอวัยวะภายใน โดย A: ทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858), B: อวัยวะที่ทำหน้าที่ในการหายใจ (gill) และC: ตำแหน่งของหัวใจ (heart) 11

รูปที่ 3.2 พื้นที่ศึกษา อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดย A: แนวปะการังแหลมปู่เจ้า B: โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการัง เขาหมาจอ และ C: ห้องปฏิบัติการพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย 12

รูปที่ 3.3 ระบบเลี้ยงตัวอย่างทากเปลือย *Jorunna funebris* ในโรงเพาะขยายพันธุ์ปะการัง เขาหมาจอ ตำบลแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี และฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp. 13

รูปที่ 3.4 การควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง โดย A: ปรับอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความร้อน และ B: ปรับระดับอุณหภูมิโดยใช้เครื่องทำความเย็น 14

รูปที่ 3.5 การจัดตรียมชุดการทดลองความเค็ม 15

รูปที่ 3.6 การควบคุมระดับความเป็นกรด-เบส ผ่านระบบควบคุมความเป็นกรด-เบสแบบอัตโนมัติ (automatic pH controller) 16

รูปที่ 3.7 การตรวจวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจ (six-channel oxygen electrodes, model 928, Strathkelvin Instruments) 17

รูปที่ 3.8 ตำแหน่งหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris* 18

รูปที่ 4.1 อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ในระดับอุณหภูมิ 18, 23, 28, 33 และ 38 °C (n=10) 19

รูปที่ 4.2 อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับอุณหภูมิ 18, 23, 28, 33 และ 38 ºC (n=10) (* = ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้)..... 20

รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของทากเปลือย โดย A) ภาวะปกติ B) ภาวะเสียการทรงตัว 21

รูปที่ 4.4 อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ที่ระดับความเค็ม 20, 25, 30, 35 และ 40 (n=10) 23

รูปที่ 4.5 อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเค็ม 20, 25, 30, 35 และ 40 (n=10) (* = ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้) 24

รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของทากเปลือย โดย A) ภาวะปกติ B) ภาวะหยุดการเคลื่อนที่ และ C) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา 25

รูปที่ 4.7 อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ในระดับความเป็นกรด-เบส 7.6, 7.8 และ 8.1 (n=9) 26

รูปที่ 4.8 อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.6, 7.8 และ 8.1 (n=9) 27

รูปที่ 4.9 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของทากเปลือย โดย A) ภาวะปกติ B) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา .. 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 สรุปพฤติกรรมของทากเปลือยเมื่อปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากชุดควบคุม 22
ตารางที่ 2 สรุปพฤติกรรมของทากเปลือยเมื่อปรับความเค็มเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากชุดควบคุม..... 25
ตารางที่ 3 สรุปพฤติกรรมของทากเปลือยเมื่อปรับความเป็นกรด-เบสลดต่ำลงจากชุดควบคุม 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผล ทฤษฎีที่สำคัญ หรือสมมติฐาน

การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปัจจุบัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก หรือแม้กระทั่งทำให้น้ำทะเลมีภาวะความเป็นกรดเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน ปัจจุบัน ภาวะดังกล่าวเป็นปัญหาที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นและมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต การที่ระบบนิเวศชายฝั่งเป็นระบบนิเวศที่มีแนวโน้มในการรับผลโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศดังกล่าว จึงส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม หรือ ความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลได้ โดยที่คุณสมบัติเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในทะเล กรณีของทากเปลือย (nudibranch) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีสีสันสวยงาม มีความหลากหลายสูง และสามารถพบได้ทั่วไปในระบบนิเวศแนวปะการัง ทากเปลือยไม่เพียงมีความสำคัญในระบบห่วงโซ่อาหารเท่านั้น แต่ทากเปลือยบางชนิดสามารถสร้างสารทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้ทางการแพทย์หรือเภสัชกรรมได้ เช่น ทากเปลือย *Jorunna funebris* สามารถสร้างสารทุติยภูมิกลุ่มเรเนียรามัยซิน (renieramycins) เก็บสะสมไว้ในร่างกายเพื่อใช้ในการป้องกันตัว แต่สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการต้านเซลล์มะเร็งของมนุษย์ได้ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางกายภาพและเคมีของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นสามารถส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต โดยการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านี้ เช่น การเพิ่มขึ้นของอัตราการเผาผลาญพลังงานหรือการบริโภคออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจ นอกจากนั้น อัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับมวลของทากเปลือย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอัตราดังกล่าวสามารถส่งผลต่อพฤติกรรมในการดำรงชีวิตของทากเปลือย เช่น พฤติกรรมการกินอาหาร การสืบพันธุ์ การเคลื่อนที่ หรือรวมถึงความสามารถในการสร้างสารทุติยภูมิที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วย

จากปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของน้ำทะเลส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตข้างต้น จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส ต่ออัตราการบริโภคอออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris* เพื่อสามารถอธิบายสภาวะของทากเปลือย *Jorunna funebris* ที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนจัดการและการอนุรักษ์ทรัพยากรทากเปลือยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจน และการเต้นหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858) เมื่อได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

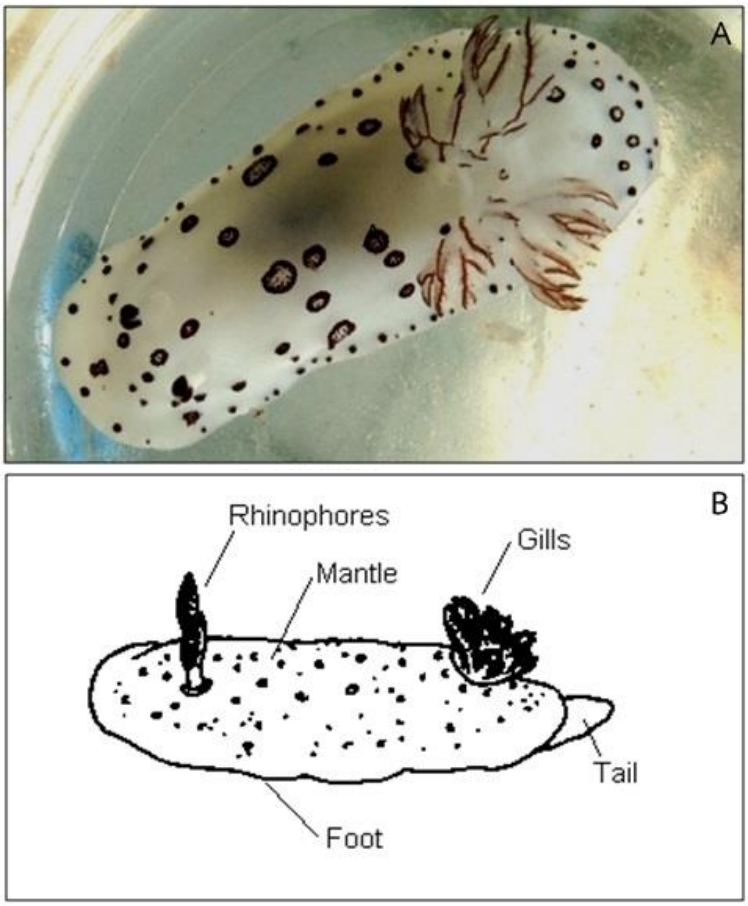
สามารถอธิบายสภาวะของทากเปลือย *Jorunna funebris* ที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ทั้งอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนจัดการและการอนุรักษ์ทรัพยากรทากเปลือยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ชีววิทยาของทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858)



(ที่มา: Piton and Morrow, 1994)

รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของทากเปลือย โดย A) ทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858) และ B) ลักษณะสรีรวิทยาภายนอก

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของทากเปลือย *Jorunna funebris*

ทากเปลือย *Jorunna funebris* จัดอยู่ในไฟลัม Mollusca คลาส Gastropoda ซับคลาส Opisthobranchia ลำดับ Nudibranchia ลำดับย่อย Doridina ครอบครัว Discodorididae (World register of marine species: WROMS) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กที่ไม่มีเปลือกห่อหุ้มลำตัว โดยที่ลำตัวมีลักษณะอ่อนนุ่มและไม่แบ่งเป็นปล้อง มีเมนเทิลซึ่งทำหน้าที่แผ่ขยายปกคลุมลำตัว พื้นผิวของเมนเทิลมีจุดสีดำกระจายอยู่รายรอบ บริเวณส่วนหัวมีหนวด 1 คู่ เรียกว่า rhinophores ซึ่งอยู่ด้านบนทางตอนหน้าของลำตัว ทำหน้าที่ในการรับสัมผัส (Harris, 1973)

2.1.2 ถิ่นที่อยู่อาศัยและการแพร่กระจาย

ทากเปลือย (Nudibranch) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีสีสันสวยงามและมีความหลากหลายทางชนิดสูง ซึ่งทากเปลือยสามารถพบได้ในระบบนิเวศทางทะเล ตั้งแต่เขตน้ำขึ้นน้ำลงจนถึงระดับลึกกว่า 1,000 เมตร โดยทั่วไปทากเปลือยมีขนาดความยาวตั้งแต่ 2-3 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่พบแพร่กระจายในเขตอินโดแปซิฟิก สำหรับในประเทศไทยพบทากเปลือยประมาณ 97 ชนิด โดยทากเปลือย *Jorunna funebris* พบกระจายตามแนวชายฝั่งเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามัน (Chavanich et al., 2013) โดยส่วนใหญ่พบอาศัยอยู่บนฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp. ซึ่งเป็นอาหารที่สำคัญของทากเปลือยชนิดนี้ (Darumas et al., 2007; Chavanich et al., 2013) ทากเปลือยชนิดนี้พบแพร่กระจายอย่างแพร่หลายในเขตพื้นที่ชายฝั่งอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี พบแพร่กระจายที่ระดับความลึก 0.5-3.0 เมตร โดยมีขนาดตามความยาวเหยียด ตั้งแต่ 0.5-12 เซนติเมตร (นลินี รัศมีธรรมาธิกุล, 2549)

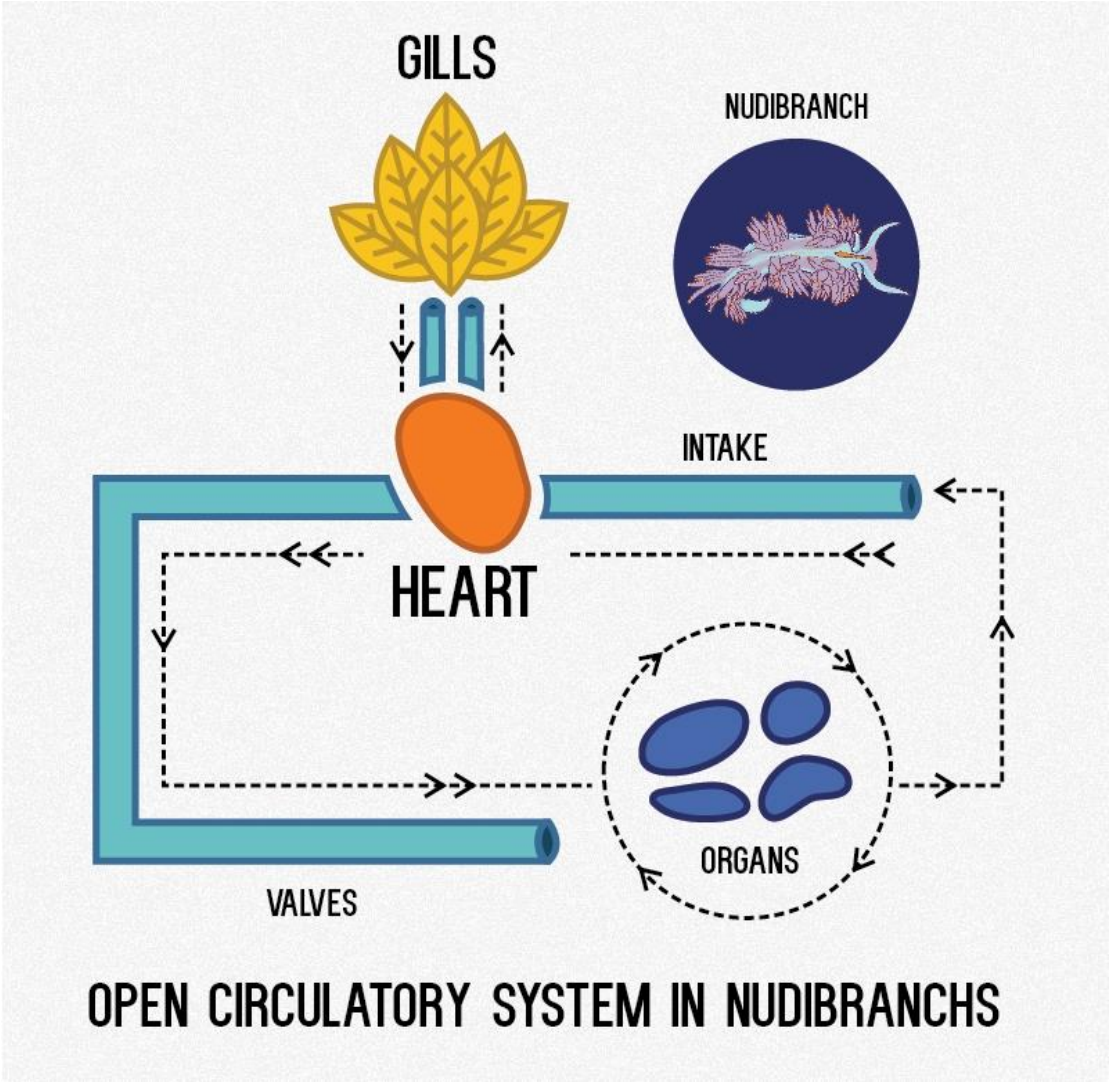
รูปที่ 2.2 ลักษณะที่อยู่อาศัยของทากเปลือย *Jorunna funebris* และฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp.

2.1.3 ความสำคัญของทากเปลือย

ทากเปลือย นอกจากเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลายสูงและสวยงามเป็นที่สะดุจตาของนักดำน้ำและนักท่องเที่ยว นอกจากนี้ ในปัจจุบันทากเปลือย *Jorunna funebris* เป็นสัตว์ที่มีความสำคัญทางด้านการแพทย์ เนื่องจากทากเปลือยชนิดนี้สามารถสร้างสารทุติยภูมิ (secondary productivity) และเก็บสะสมไว้ในร่างกาย ซึ่งสารเหล่านี้สามารถนำไปสกัดเป็นรักษาโรคสำหรับมนุษย์ได้ โดยสารที่ผลิตขึ้นมานั้นเป็นสารประกอบทางชีวภาพ (bioactive compounds) ในกลุ่ม renieramycin ซึ่งมีฤทธิ์ในการต่อต้านเซลล์มะเร็ง และแบคทีเรีย (Suwanborirux et al., 2003) ในขณะเดียวกัน ทากเปลือยชนิดนี้ยังนิยมนำมาทดลอง และศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรม รวมไปถึงระบบประสาท และอวัยวะภายใน เนื่องจากทากเปลือยชนิดนี้มีระบบประสาทที่ไม่ซับซ้อนมาก (สุชนา ชวนิชย์ และคณะ, 2554)

2.1.4 ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจของทากเปลือย

ทากเปลือยมีระบบหมุนเวียนโลหิตเป็นระบบเปิด (open circulatory system) เลือดของทากเปลือยเรียกว่า hemolymph การไหลเวียนของโลหิตถูกควบคุมโดยหัวใจทั้ง 2 ห้อง โดยหัวใจได้รับเลือดมาจากหลอดเลือดดำที่มีขนาดใหญ่ และสูบฉีดเลือดไปยังช่องว่างต่างๆ ของร่างกาย แล้วจึงไหลกลับเข้าสู่หัวใจอีกครั้ง (Dekker et al., 2001) โดยเลือดของสัตว์กลุ่มนี้มีความเข้มข้นของสารองค์ประกอบภายในเลือด ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมทั่วไป นอกจากนี้ ทากเปลือยยังมีเหงือก (gills) ซึ่งทำหน้าที่เป็นอวัยวะหายใจ ลักษณะเป็นผนังบางๆยื่นขึ้นมา มักเรียงตัวเป็นวงกลมรอบทวารหนัก บริเวณส่วนของเมนเทิล (mantle) ทางด้านท้ายของลำตัว (Harris, 1973; Jones et al., 1998)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

(ที่มา: Sarah, 2014)

รูปที่ 2.3 ระบบไหลเวียนโลหิต และระบบการหายใจของทากเปลือย

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจของทากเปลือย

2.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่จำกัดความชุกชุมและการกระจายตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง โดยเฉพาะสัตว์กลุ่มหอย (Willmer et al., 2000; Al-Khateeb, 2009) นอกจากนี้ อุณหภูมิ ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการเผาพลาญพลังงาน ระดับของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในร่างกาย และการสมดุลพลังงาน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อกระบวนการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย และกิจกรรมทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิต (Precht et al., 1973) ตามหลักทฤษฎีเมื่ออุณหภูมิในร่างกายเปลี่ยนแปลงทุก 10 องศาเซลเซียส อัตราการเผาพลาญพลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสองเท่า ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการบริโภคออกซิเจน (Munro and Wingfield, 1937) โดยจากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการการบริโภคออกซิเจน และอัตราการเต้นหัวใจที่ผ่านมาพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การบริโภคออกซิเจนของหอย *Murex pomum* และ *Strombus pugilis* เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดที่ใหญ่ขึ้น อีกทั้งพบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีลักษณะเป็น S Shape โดยอัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงที่อุณหภูมิวิกฤต (32 องศาเซลเซียสและความเค็ม 40) (Sander and Moore, 1977) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในหนอนตัวแบน *Procerodes littoralis* (McAllen et al., 2002) นอกจากนั้นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงสามารถส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นของหอย *Littorina littorea* และ *Ligumia subrostrata* เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Lowe and Trueman, 1972; Dietz and Tomkins, 1979) ทั้งนี้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลันยังส่งผลต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลัง อาทิ หอยฝาเดียว (Harh, 2004)

2.2.2 ความเค็ม

ความเค็ม เป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณเขตชายฝั่ง ซึ่งระดับความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยความเค็มมีอิทธิพลโดยตรงต่อความสามารถในการควบคุมสมดุลน้ำ และไอออนภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก (Berger and Kharazova, 1997) โดยทั่วไปสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลัง จัดอยู่ในกลุ่มออสโมคอนฟอร์มเมอร์ (osmoconformers) มีระบบรักษาสมดุลน้ำ และไอออนในร่างกายเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน โดยควบคุมให้ระดับของของเหลวในร่างกายมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อม (isoosmotic) (Berger and Kharazova, 1997; Graham, 2005) และของเหลวในร่างกายมีแรงดันออสโมติกเท่ากับน้ำทะเล โดยภายในเนื้อเยื่อจะมีปริมาณของตัวถูกละลาย(เกลือ) และน้ำเท่ากับน้ำทะเล และเมื่อร่างกายสัมผัสกับความเค็มที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงไปจากสภาวะปกติ ส่งผลให้ระดับของเหลวในร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อม (Graham, 2005) สิ่งมีชีวิตจึงจำเป็นต้องมีการปรับสมดุลน้ำ และไอออนในร่างกายให้ใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยการออสโมซีส (osmosis) ของน้ำและการแพร่เข้า-ออก (diffusion) ของไอออน (Castille and Lawrence, 1981) ในสภาวะทั่วไปองค์ประกอบของน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและค่อนข้างช้า ดังนั้นสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังจึงสามารถอาศัยอยู่ในทะเลได้ และในขณะเดียวกัน หากสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังเข้าไปอาศัยในบริเวณที่มีความเข้มข้นขององค์ประกอบของน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าสภาวะทั่วไปได้ สัตว์กลุ่มนี้จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนระบบภายในร่างกายเพื่อรักษาแรงดันออสโมซิสในร่างกายให้คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม ซึ่งเรียกว่า"ออสโมเรคกูเลชัน" (osmoregulation) (Graham, 2005) โดยทั่วไปการควบคุมออสโมซิสเป็นการขับน้ำที่มีปริมาณมากเกินความต้องการออกจากร่างกายเพื่อรักษาระดับแรงดันออสโมซิสภายในร่างกายให้สมดุล (homeostasis) (Gilles, 1983) จากการศึกษาผลของความเค็มต่ออัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการเต้นหัวใจที่ผ่านมา พบว่า การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของระดับความเค็มส่งผลให้ อัตราการบริโภคออกซิเจนของหอย *Katherina tunicate* และหอย *Nassarius festivus* เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับความเค็มลดลง (Stickle and Sabourin, 1979) และเพิ่มขึ้น (Cheung and Lam, 1995) ตามลำดับ นอกจากนั้นการลดลงของความเค็มยังส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจของหอย *Potamopyrgus Jenkins* และหอยแปดเกล็ด *Katherina tunicata* เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Duncan and Klekowski, 1967; Stickle and Sabourin, 1979)

2.2.3 ความเป็นกรด-เบส

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยมนุษย์ส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศทางทะเล การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเลมีผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสลดต่ำลงจนมีผลต่อกระบวนการต่างๆในร่างกายของสัตว์น้ำ (physiology) โดยมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการควบคุมกรด-เบส (acid-base regulation) ในภาวะที่มีระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดสูง (hypercapnia) กระบวนการสร้างหินปูน (calcification processes) การเจริญเติบโต (Growth) การใช้พลังงาน (energy turnover) และกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (metabolism) (Portner et al., 2004) ของสัตว์น้ำ นอกจากนั้น การสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณผิวหน้าน้ำทะเลยังส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยประจำถิ่น โดยมีผลต่อกระบวนการหายใจ (ventilation) ระบบหัวใจและการไหลเวียนโลหิต (cardio-circulation) เพื่อใช้ในการบริโภคออกซิเจน และการแพร่กระจายตัวของสิ่งมีชีวิต (Portner, 2002) โดยพบว่าสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มหอยมีความไวต่อการรับสัมผัสและตอบสนองได้ดีต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะดังกล่าว (Portner, 1994) ทั้งนี้ จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นหัวใจที่ผ่านมาพบว่า เมื่อความเป็นกรด-เบสลดต่ำลง (pH < 7.6) ส่งผลให้อัตราการเต้นหัวใจของหอย *Littoria obtusata* มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว (Ellis et al., 2009) และความเป็นกรด-เบสในระดับดังกล่าวยังส่งผลให้อัตราการเผาผลาญพลังงานมีแนวโน้มลดลงด้วย (Gutowska et al., 2008; Rosa and Seibel, 2008) ทั้งนี้ ความเป็นกรด-เบสที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากส่งผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ในร่างกายแล้ว ยังสามารถส่งผลต่อความสามารถในอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตและการทำงานของร่างกาย เช่น การขับถ่ายของเสีย อัตราการสร้างเปลือก และอัตราการเติบโต เป็นต้น (Parker et al., 2013) ทั้งนี้ปัจจุบัน ยังไม่มีรายงานผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส ต่อสิ่งมีชีวิตในกลุ่มหอยฝาเดียว โดยเฉพาะกลุ่มหอยที่ไม่มีเปลือกแข็งห่อหุ้มลำตัว เช่น ทากเปลือย

ในปัจจุบัน การศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption) และอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่อสภาพแวดล้อม (Marshall and Mcquaid, 1992; Rovero et al., 1999) พบว่าอุณหภูมิและความเค็ม เป็นปัจจัยหลักที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นของหัวใจ (Marshall and Mcquaid, 1994; Aardt and Voslo, 1996; Claireaux and Lagarde`re, 1999; Rovero et al., 1999) ขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเลเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจน (Portner et al., 2004; Parker et al.,

2013) กล่าวได้ว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์กับอัตราการบริโภคออกซิเจนโดยตรงอย่างเห็นได้ชัดในสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลัง (Sander and Moore, 1977; Shumway, 1978) สำหรับอัตราการบริโภคออกซิเจนซึ่งเป็นอัตราการเผาผลาญพลังงานของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังนั้น มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับอัตราการเต้นของหัวใจ เมื่อปัจจัยแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิม (Lowe and Trueman, 1972; Depledge, 1977; Butler et al., 2004) ทั้งนี้ การบริโภคออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นด้วย (Marshall and Mcquaid, 1992)

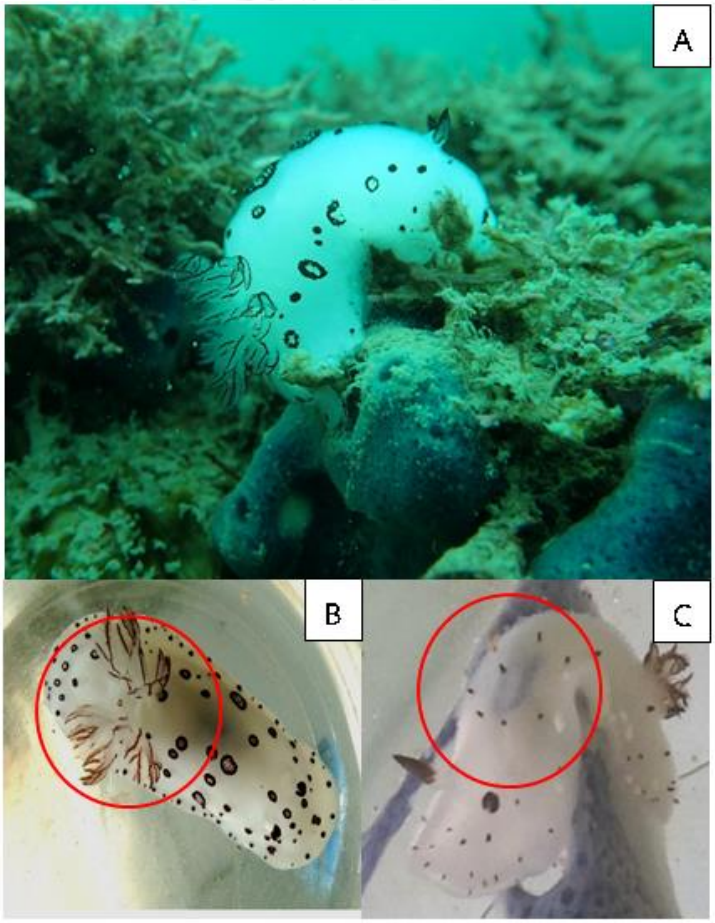
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ชนิดของทากเปลือยที่ทำการศึกษา

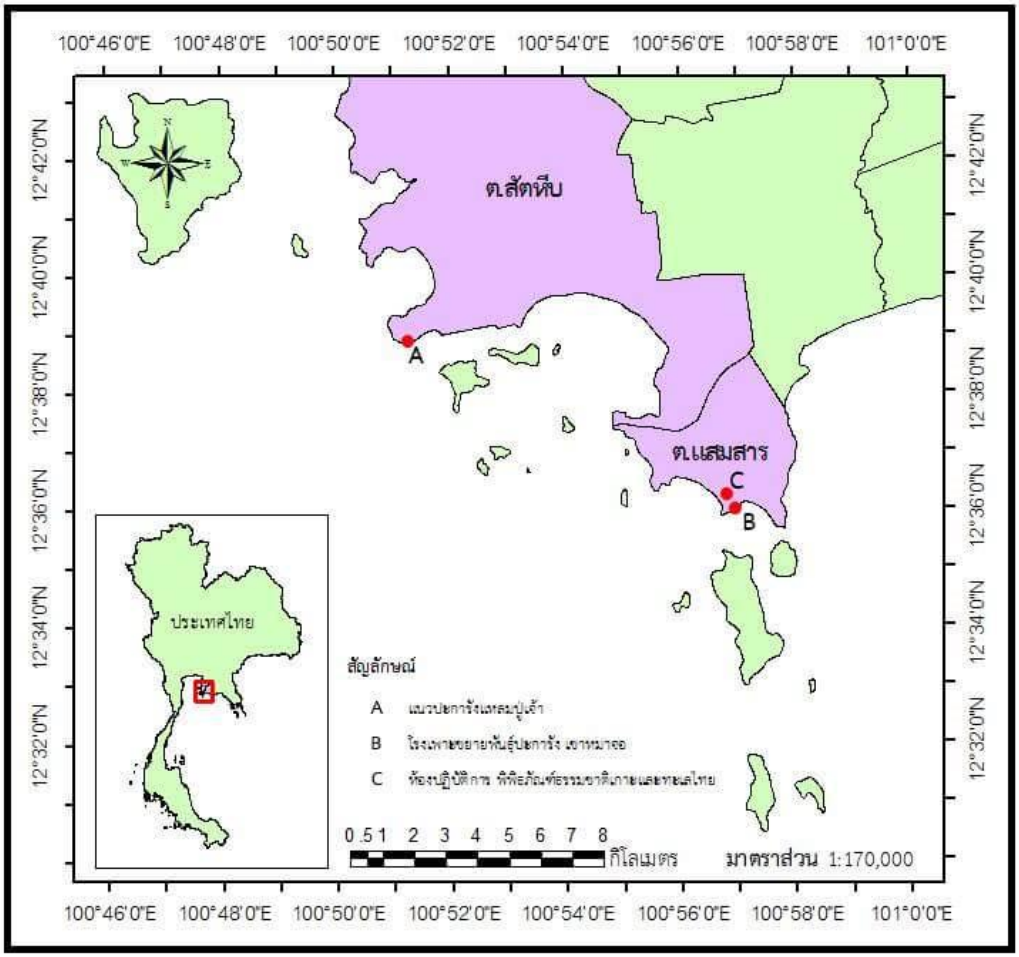
ทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858) (รูปที่ 3.1A) มีลักษณะทางสรีรวิทยาทั้งภายนอกและภายในที่ไม่ซับซ้อน โดยบริเวณปลายสุดของลำตัวหรือแผ่นหลังถูกปกคลุมด้วยเหงือก มีลักษณะเป็นพู่ (branched gill) (รูปที่ 3.1B) นอกจากนั้น ทากเปลือยชนิดนี้ยังมีผนังห่อหุ้มลำตัวที่ไม่หนามาก จึงสามารถมองเห็นอวัยวะภายใน อาทิ หัวใจ ได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 3.1C)



รูปที่ 3.1 ทากเปลือยที่ใช้ในการทดลอง และอวัยวะภายใน โดย A: ทากเปลือย *Jorunna funebris* (Kelaart, 1858), B: อวัยวะที่ทำหน้าที่ในการหายใจ (gill) และ C: ตำแหน่งของหัวใจ (heart)

3.2 พื้นที่ศึกษา

ทำการเก็บตัวอย่างทากเปลือย *Jorunna funebris* จากแนวปะการังชายฝั่งแหลมปู่เจ้า ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 จากนั้นนำตัวอย่างมาอนุบาล ณ โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการัง เขาหมาจอ และทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย ตำบลแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 3.2 พื้นที่ศึกษา อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดย A: แนวปะการังแหลมปู่เจ้า B: โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการัง เขาหมาจอ และ C: ห้องปฏิบัติการพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย

3.3 การเก็บและการเตรียมตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างทากเปลือย *Jorunna funebris* ที่มีความยาวเหยียดตั้งแต่ 0.5-1.0 เซนติเมตร จากแนวปะการังในพื้นที่ทำการศึกษา โดยการดำน้ำแบบใช้ถังอากาศ (SCUBA Diving) ที่ระดับความลึก 3–5 เมตร จากนั้น นำตัวอย่างที่ได้มาทำการอนุบาลเพื่อทำการปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการทดลองในโรงเพาะขยายพันธุ์ปะการัง เขาหมาจอ ที่บรรจุอยู่ในถังพลาสติกขนาดกว้าง×ยาว×สูง 50×100×50 เซนติเมตร โดยแยกเลี้ยงทากเปลือยในกรงตาข่ายพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางxสูง 10x15 เซนติเมตร (รูปที่ 3.3) ที่ระดับความเค็ม 30±1.0 และอุณหภูมิน้ำทะเล 28±0.5 °C ซึ่งเป็นระดับโดยเฉลี่ยตลอดปีในพื้นที่ทำการศึกษา พร้อมทั้งให้น้ำและอากาศตลอดเวลา ทั้งนี้ ให้ฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp. เป็นอาหาร วันละหนึ่งครั้ง ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ จากนั้นจึงนำทากเปลือยภายหลังการอนุบาลเป็นเวลา 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ ซึ่งแบ่งเป็นขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ มาทำการทดลองต่อไป โดยคัดแยกเฉพาะทากเปลือยที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์และแข็ง ทั้งนี้ทากเปลือยแต่ละขนาดมีความยาวเหยียดเริ่มต้นเมื่อเริ่มการทดลองนี้ 0.5-2.0 เซนติเมตร 2.5-4.0 เซนติเมตร และ 4.5-6.0 เซนติเมตร ตามลำดับ จากนั้นจึงนำไปใช้ศึกษาผลของ อุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด เบส ต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นหัวใจ ณ ห้องปฏิบัติการ พิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทยต่อไป

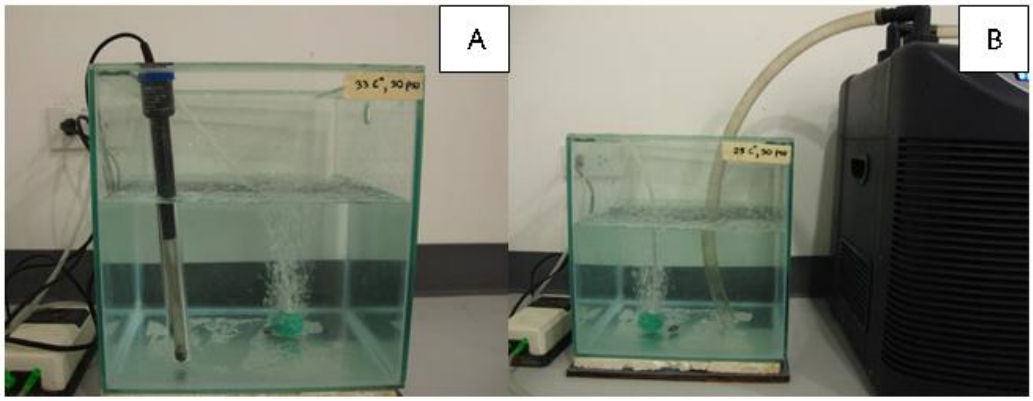
รูปที่ 3.3 ระบบเลี้ยงตัวอย่างทากเปลือย *Jorunna funebris* ในโรงเพาะขยายพันธุ์ปะการัง เขาหมาจอ ตำบลแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี และฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp.

3.4 การทดลอง ชุดการทดลองและการเตรียมการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส

3.4.1 การทดลองอุณหภูมิ

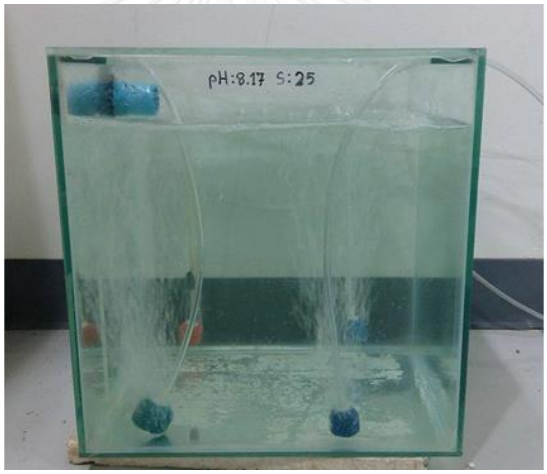
จัดชุดการทดลองออกตามระดับอุณหภูมิที่ 5 ระดับ ได้แก่ 18, 23, 28, 33 และ 38 °C กำหนดให้ที่ระดับอุณหภูมิ 28 °C เป็นชุดควบคุม ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีในพื้นที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ ทำการเตรียมชุดการทดลองที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่าชุดควบคุม (33 และ 38 °C) โดยปรับระดับของอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความร้อน (electronic aquarium heater) (รูปที่ 3.4 A) ขณะที่ชุดการทดลองที่มีระดับอุณหภูมิต่ำกว่าชุดควบคุม (18 และ 23 °C) ทำการปรับระดับอุณหภูมิโดยใช้เครื่องทำความเย็น (Chiller) (รูปที่ 3.4 B) พร้อมทั้ง ทำการตรวจอุณหภูมิด้วยเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นแบบภาคสนาม อนึ่ง ทำการจัดเตรียมชุดการทดลองที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ และให้อากาศตลอดเวลา ก่อนนำไปใช้ในการทดลองเป็นเวลา 1 วัน พร้อมทั้งควบคุมความเค็มของแต่ละชุดการทดลองที่ 30 และความเป็นกรด-เบสที่ 8.1



รูปที่ 3.4 การควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง โดย A: ปรับอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความร้อน และ B: ปรับระดับอุณหภูมิโดยใช้เครื่องทำความเย็น

3.4.2 การทดลองความเค็ม

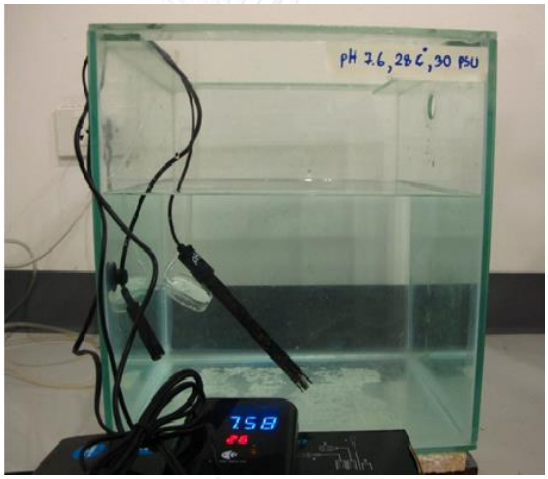
จัดชุดการทดลองออกตามระดับความเค็มที่ 5 ระดับ ได้แก่ 20, 25, 30, 35 และ 40 กำหนดให้ที่ระดับความเค็ม 30 เป็นชุดควบคุม ซึ่งเป็นระดับความเค็มเฉลี่ยตลอดปีในพื้นที่ทำการศึกษา ทำการเตรียมชุดการทดลองที่มีระดับความเค็มต่ำกว่าชุดควบคุม โดยการเจือจางน้ำทะเลกับน้ำจืดที่ผ่านการกรอง ขณะที่ชุดการทดลองที่มีระดับความเค็มสูงกว่าชุดควบคุม ใช้การผสมน้ำทะเลที่ผ่านการกรองกับเกลือสังเคราะห์ ทั้งนี้ ปรับค่าความเป็นกรด-เบสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.01 N และไฮโดรคลอริก (HCl) พร้อมทั้ง ทำการตรวจวัดความเค็มและความเป็นกรดเบสด้วยเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นแบบภาคสนาม ทั้งนี้ ทำการจัดเตรียมชุดการทดลองที่ระดับความเค็มต่าง ๆ และให้อากาศตลอดเวลา ก่อนนำไปใช้ในการทดลองเป็นเวลา 1 วัน พร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิของแต่ละชุดการทดลองที่ 28 °C และความเป็นกรด-เบสที่ 8.1



รูปที่ 3.5 การจัดตรียมชุดการทดลองความเค็ม

3.4.3 การทดลองความเป็นกรด-เบส

จัดชุดการทดลองออกตามระดับความเป็นกรด-เบส ที่ 3 ระดับ ได้แก่ 7.6, 7.8 และ 8.1 กำหนดให้ที่ระดับความเป็นกรด-เบส 8.1 เป็นชุดควบคุม ซึ่งเป็นระดับความเป็นกรดเบสเฉลี่ยตลอดปีในพื้นที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ ทำการปรับระดับความเป็นกรด-เบส ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านระบบควบคุมความเป็นกรด-เบส แบบอัตโนมัติ (automatic pH controller) (รูปที่ 3.6) ทั้งนี้ ทำการตรวจวัดความเป็นกรด-เบสด้วยเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นแบบภาคสนาม โดยก่อนทำการจัดเตรียมชุดการทดลองที่ระดับความเป็นกรด-เบสต่าง ๆ นำน้ำทะเลมาให้อากาศเป็นเวลา 1 วัน พร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิของแต่ละชุดการทดลองที่ 28 ºC และความเค็มที่ 30



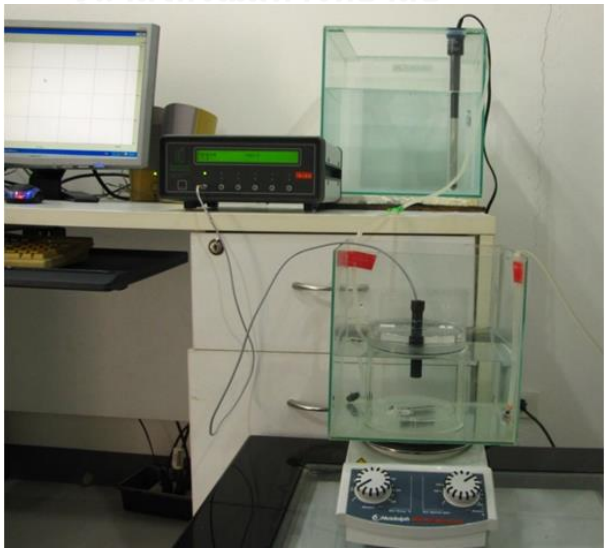
รูปที่ 3.6 การควบคุมระดับความเป็นกรด-เบส ผ่านระบบควบคุมความเป็นกรด-เบสแบบอัตโนมัติ (automatic pH controller)

3.5 ขั้นตอนการทดลองและการประเมินผลการทดลอง

ทำการประเมินผลการทดลองในการศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นหัวใจ

3.5.1 การศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจน

ทำการสุ่มเลือกทากเปลือยที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง (ไม่ปล่อยเมือก) มีความยาวเหยียดใกล้เคียงกันในแต่ละขนาดตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.3.1 บรรจุลงในภาชนะทดลอง (respiration chamber) ขนาด 750 มิลลิลิตร ในแต่ละชุดการทดลองที่จัดเตรียมไว้ ภายใต้ระบบการทดลองแบบปิด (Close system) โดยที่ภาชนะทดลอง 1 ใบ ใช้สัตว์ทดลองจำนวน 1 ตัว และเพื่อให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในภาชนะทดลองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องช่วยกวน (stirrer) จากนั้นทำการตรวจวัดอัตราการบริโภคออกซิเจน ด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจ (six-channel oxygen electrodes, model 928, Strathkelvin Instruments) (รูปที่ 3.7) ทำการบันทึกค่าออกซิเจนจากเครื่องวัดอัตราการหายใจในขณะเริ่มต้น ณ นาทีที่ 0 และสิ้นสุดการทดลอง ในนาทีที่ 60 เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำทากเปลือยมาซับน้ำออกให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และวัดความยาวเหยียดของลำตัวอีกครั้ง ในการตรวจวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนในแต่ละระดับของปัจจัย ทำการทดลอง 10 ซ้ำ (ตัว) ทั้งนี้ ปริมาณออกซิเจนที่ตรวจวัดได้ คำนวณโดยใช้โปรแกรม Strathkelvin เวอร์ชัน 2.2 โดยอัตราการบริโภคออกซิเจนที่ได้มีหน่วยเป็น ไมโครโมลต่อกรัมต่อชั่วโมง (μmol/g/h) ในระหว่างการทดลอง ทากเปลือยทุกตัวยังคงมีชีวิต และไม่มีทากเปลือยตัวใดสัมผัสกับสภาวะพร่องออกซิเจน (ปริมาณออกซิเจนหลังการทดลองมีค่าอิ่มตัวมากกว่าร้อยละ 70)



รูปที่ 3.7 การตรวจวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจ (six-channel oxygen electrodes, model 928, Strathkelvin Instruments)

3.5.2 การศึกษาอัตราการเต้นหัวใจ

โดยทั่วไป ทากเปลือย *Jorunna funebris* มีลักษณะทางสรีรวิทยาที่ไม่ซับซ้อน มีผนังหุ้มลำตัวที่ไม่หนามาก ทำให้สามารถมองเห็นหัวใจได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 3.8) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการตรวจวัดอัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยด้วยการนับโดยตรงด้วยสายตา โดยเริ่มทำการนับอัตราการเต้นหัวใจ ณ นาทีที่ 10 (ทำการอ้างอิงจากผลการศึกษาเบื้องต้น) หลังจากย้ายทากเปลือยลงในภาชนะทดลอง (respiration chamber) และปิดฝาเป็นที่เรียบร้อย ทำการนับอัตราการเต้นหัวใจเป็นเวลา 1 นาที โดยการตรวจวัดอัตราการเต้นหัวใจดังกล่าว ในแต่ละระดับของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งทำการทดลอง 10 ซ้ำ(ตัว) ทั้งนี้ หน่วยของอัตราการเต้นหัวใจมีหน่วยเป็น ครั้งต่อนาที (beat/minute)

รูปที่ 3.8 ตำแหน่งหัวใจของทากเปลือย *Jorunna funebris*

3.6 การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นตัวใจระหว่างชุดการทดลองและชุดควบคุม โดยใช้ One way ANOVA และ Tukey Test Mean Comparison

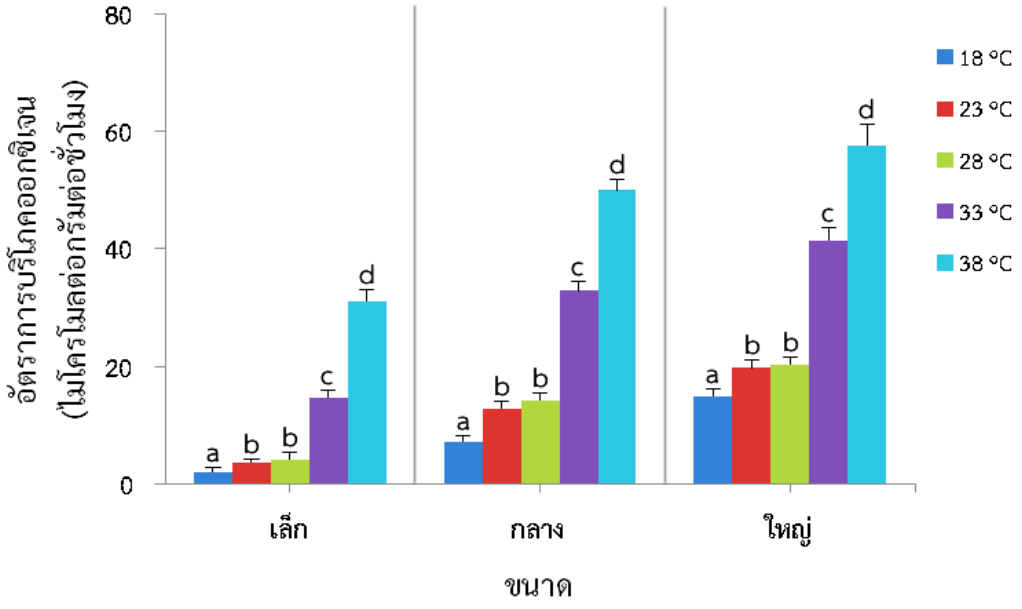
บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 อุณหภูมิ

4.1.1 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย

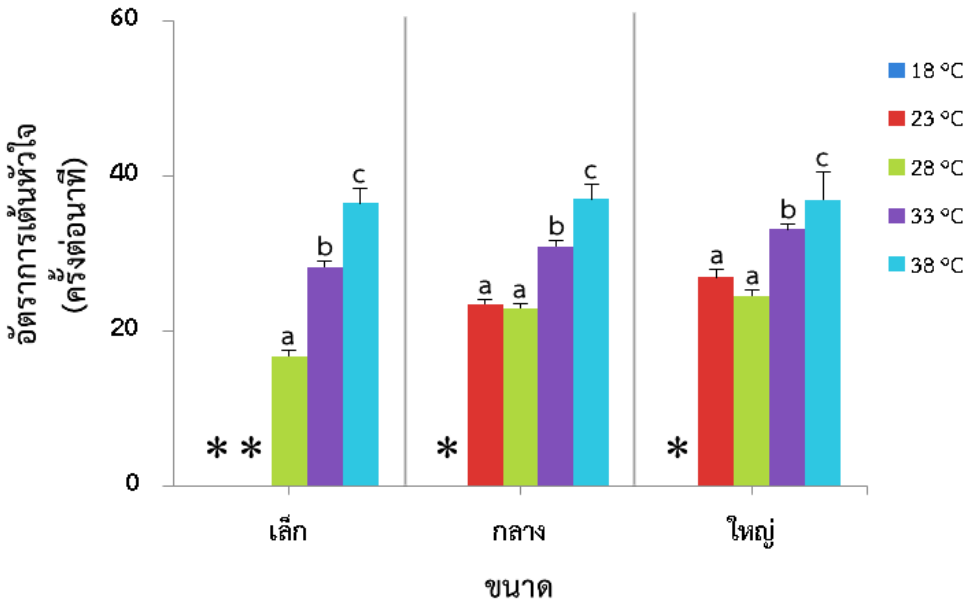
อัตราการบริโภคออกซิเจนต่อน้ำหนักต่อหน่วยเวลาของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเค็ม 18, 23, 28, 33 และ 38 °C (รูปที่ 4.1) พบว่า ทากเปลือยที่ระดับอุณหภูมิที่ 38 °C มีอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงสุด รองลงมาคือที่ระดับอุณหภูมิ 33 °C สำหรับทากเปลือยที่ระดับอุณหภูมิ 18 °C มีอัตราการบริโภคออกซิเจนต่ำสุด ทั้งนี้พบว่า อัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนส่งผลให้อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด ในแต่ละระดับอุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ยกเว้นที่ระดับอุณหภูมิ 23 °C อัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.1 อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ในระดับอุณหภูมิ 18, 23, 28, 33 และ 38 °C (n=10)

4.1.2 ผลของความอุณหภูมิต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย

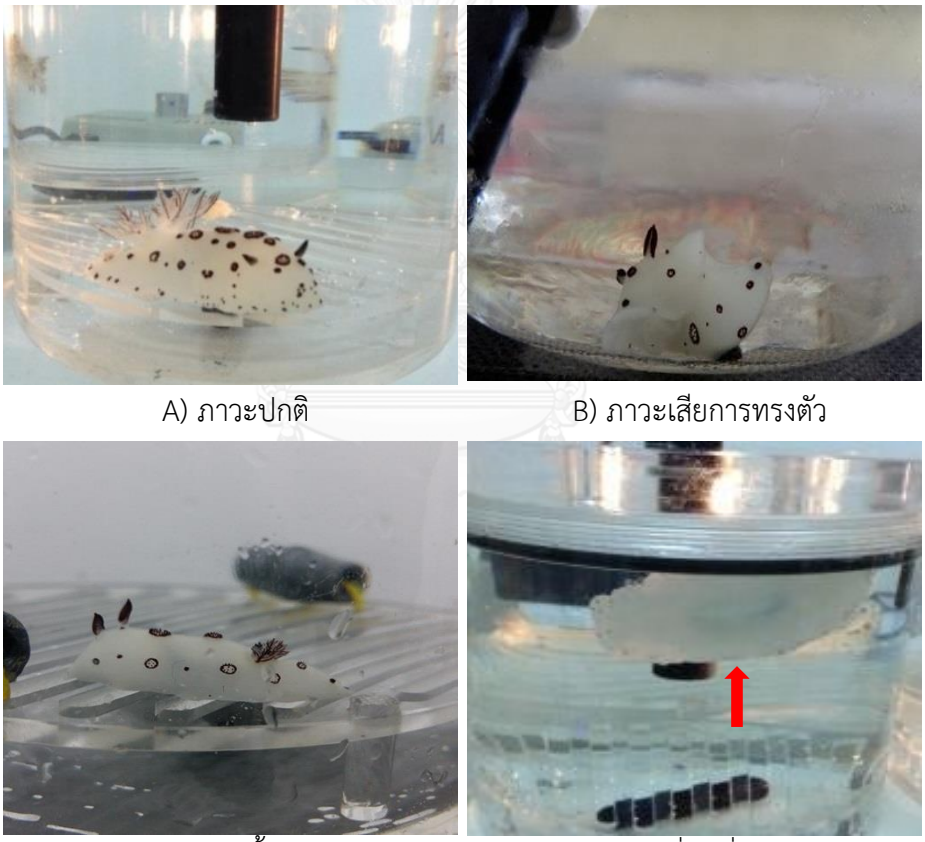
ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย (รูปที่ 4.2) พบว่า อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด (ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่) ที่ระดับอุณหภูมิ 38 °C มีอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด รองลงมาคือ ระดับอุณหภูมิ 33 °C โดยพบว่า ทากเปลือยที่ระดับอุณหภูมิดังกล่าวมีอัตราการเต้นหัวใจที่ความแตกต่างจากชุดควบคุม (28 °C) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในขณะที่ที่ระดับความเค็ม 23 °C ทากเปลือยมีอัตราการเต้นหัวใจไม่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 18 °C ทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด มีการหดของลำตัว บิดลำตัว และลำตัวมีลักษณะที่แผ่ราบไปกับพื้นภาชนะทดลองในเวลาต่อมา ตลอดจนไม่สามารถทรงตัวเพื่อให้ยึดเกาะกับพื้นภาชนะทดลองได้ จึงมีผลให้ไม่สามารถตรวจวัดอัตราการเต้นหัวใจได้



รูปที่ 4.2 อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับอุณหภูมิ 18, 23, 28, 33 และ 38 °C (n=10) (* = ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้)

4.1.3 ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของทากเปลือย

ผลจากการทดลองปรับระดับอุณหภูมิขึ้นและลงจากชุดควบคุม (28 °C) พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 18 °C ทากเปลือยทั้ง 3 ขนาดมีพฤติกรรมหยุดการเคลื่อนที่ (inactive) ลำตัวแบนราบขนาบกับพื้นพาชนะทดลอง (muscle relaxes) เหงือกรวมกันเป็นช่อแต่ไม่หดตัวและเสียการทรงตัวในขณะเคลื่อนที่ (imbalance) ในขณะเดียวกันที่ระดับอุณหภูมิ 33 °C และ 38 °C ทากเปลือยมีพฤติกรรมเคลื่อนที่ตลอดเวลา (more active) ต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น เคลื่อนที่ไปมาทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมถึงเคลื่อนที่ไปยังจุดสูงสุดของภาชนะทดลองอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ตารางที่ 1)



A) ภาวะปกติ B) ภาวะเสียการทรงตัว

C) ภาวะกล้ามเนื้อผ่อนคลาย D) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา

รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของทากเปลือย โดย A) ภาวะปกติ B) ภาวะเสียการทรงตัว C) ภาวะผ่อนคลาย และ D) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา

ตารางที่ 1 สรุปพฤติกรรมของทากเปลือยเมื่อปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากชุดควบคุม

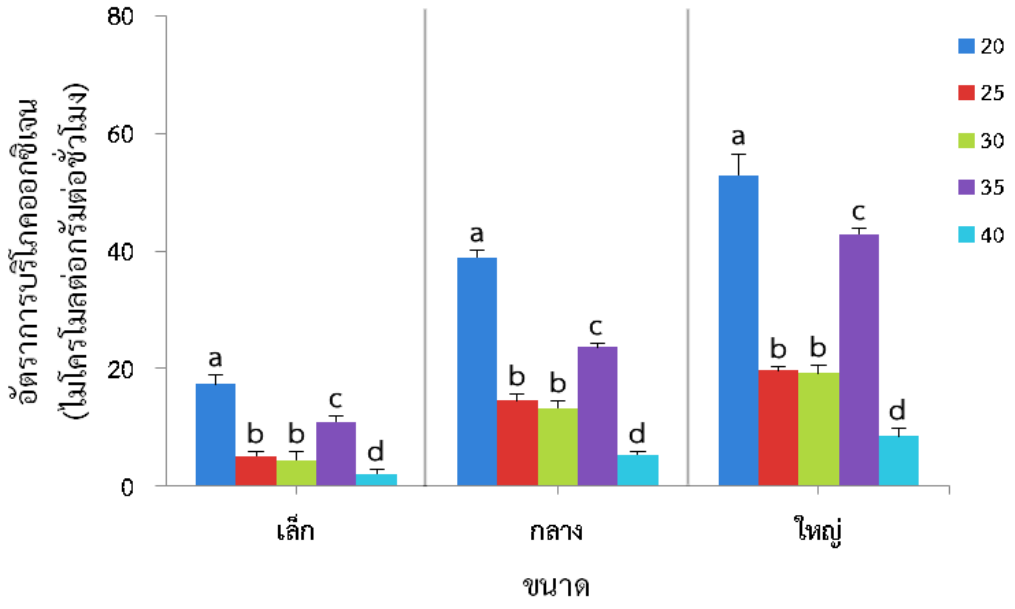
อุณหภูมิ (°C)	พฤติกรรมของทากเปลือย
18	ทากเปลือยหยุดการเคลื่อนที่ ม้วนตัวและเสียการทรงตัว ภายหลัง 20 นาที ลำตัวของทากเปลือยมีลักษณะแบนราบขนาบกับพื้นพาชนะทดลองและเหงือกรวมกันเป็นช่อไม่หดตัว
23	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่เล็กน้อยและขยับเหงือก
28	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่เล็กน้อยและขยับเหงือก
33	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบ แนวดิ่ง และเคลื่อนที่ไปยังจุดยอดของภาชนะทดลองตลอดการทดลอง และขยับเหงือก
38	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบ แนวดิ่ง และเคลื่อนที่ไปยังจุดยอดของภาชนะทดลองอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง และขยับเหงือก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ความเค็ม

4.2.1 ผลของความเค็มต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย

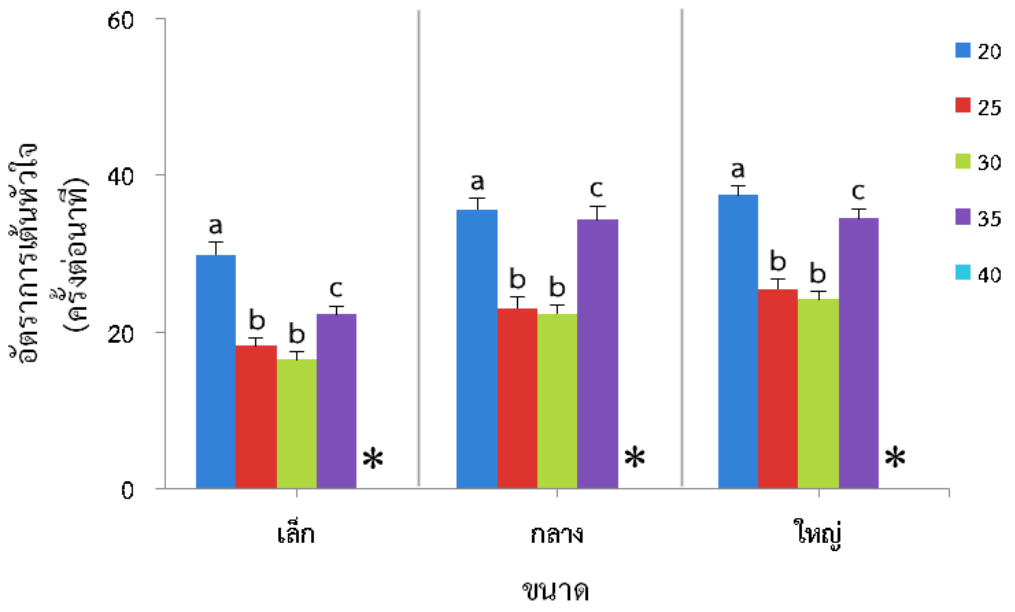
อัตราการบริโภคออกซิเจนต่อน้ำหนักต่อหน่วยเวลาของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ที่ระดับความเค็ม 20, 25, 30, 35 และ 40 (รูปที่ 4.4) พบว่า ทากเปลือยที่ระดับความเค็ม 20 มีอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงสุด และรองลงมาคือ ที่ระดับความเค็ม 35 สำหรับทากเปลือยที่ระดับความเค็ม 40 มีอัตราการบริโภคออกซิเจนต่ำสุด ทั้งนี้พบว่า อัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในกรณีที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงมากจนมีผลให้อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด ในแต่ละระดับความเค็มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ยกเว้นที่ระดับความเค็ม 25 ที่อัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.4 อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ที่ระดับความเค็ม 20, 25, 30, 35 และ 40 (n=10)

4.2.2 ผลของความเค็มต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย

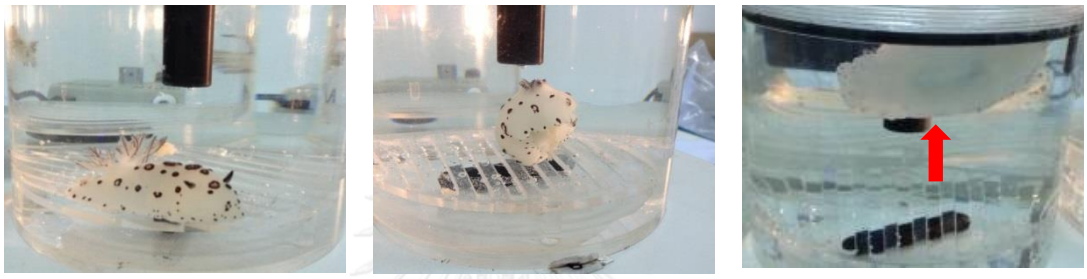
ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย (รูปที่ 4.5) พบว่า อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด (ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่) ที่ระดับความเค็ม 20 มีอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด รองลงมาคือ ที่ระดับความเค็ม 35 โดยพบว่า ทากเปลือยที่ระดับความเค็มดังกล่าวมีอัตราการเต้นหัวใจที่ความแตกต่างจากชุดควบคุม (30) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในขณะที่ที่ระดับความเค็ม 25 ทากเปลือยมีอัตราการเต้นหัวใจสูงกว่าชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ พบว่าที่ระดับความเค็ม 40 ทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด มีการหดและเกร็งลำตัวตลอดการทดลอง จึงทำให้ไม่สามารถตรวจวัดอัตราการเต้นหัวใจได้



รูปที่ 4.5 อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเค็ม 20, 25, 30, 35 และ 40 (n=10) (* = ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้)

4.2.3 ผลของความเค็มต่อพฤติกรรมของทากเปลือย

ผลจากการทดลองปรับระดับความเค็มขึ้นและลงจากชุดควบคุม (30) พบว่า ที่ระดับความเค็ม 20 และ 35 ทากเปลือยมีพฤติกรรมเคลื่อนที่ตลอดเวลา (more active) เช่น เคลื่อนที่ไปมาทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมถึงเคลื่อนที่ไปยังจุดสูงสุดของภาชนะทดลองอย่างรวดเร็วตลอดการทดลอง สำหรับทากเปลือยที่ระดับความเค็ม 40 มีการหดลำตัวและเหงือก ตลอดจนหยุดการเคลื่อนที่ (inactive) และขับเมือกออกสู่มวลน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ตารางที่ 2)



A) ภาวะปกติ B) ภาวะหยุดการเคลื่อนที่ C) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา

รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของทากเปลือย โดย A) ภาวะปกติ B) ภาวะหยุดการเคลื่อนที่ และ C) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา

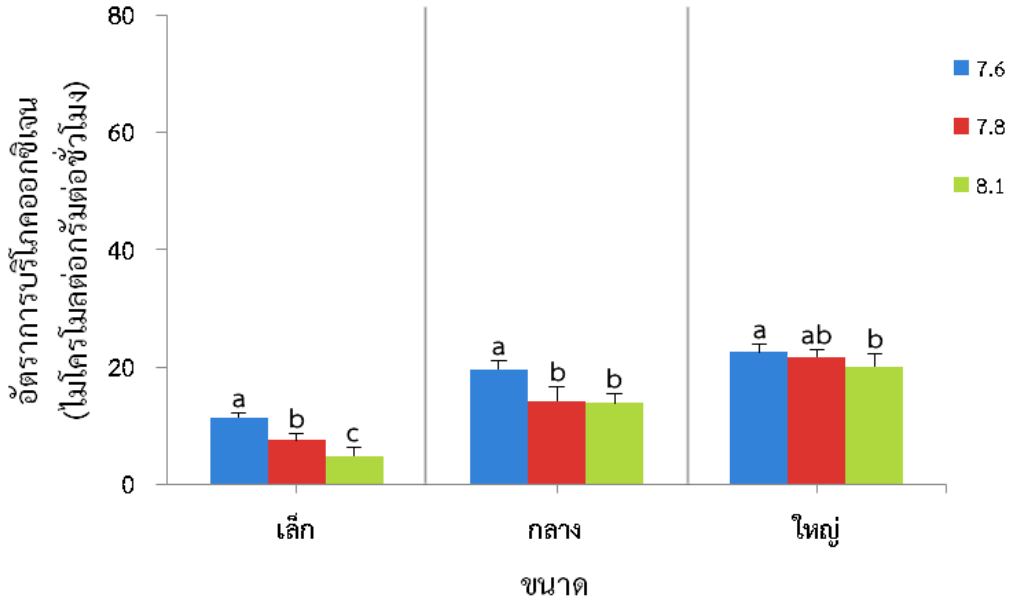
ตารางที่ 2 สรุปพฤติกรรมของทากเปลือยเมื่อปรับความเค็มเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากชุดควบคุม

ความเค็ม	**พฤติกรรมของทากเปลือย**
20	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบ แนวดิ่ง และเคลื่อนที่ไปยังจุดยอดของภาชนะทดลองอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง และขยับเหงือก
25	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่เล็กน้อยและขยับเหงือก
30	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่เล็กน้อยและขยับเหงือก
35	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบ แนวดิ่ง และขยับเหงือก
40	ทากเปลือยหยุดการเคลื่อนที่ หดลำตัวและเหงือก เกร็งกล้ามเนื้อและขับเมือกออกสู่มวลน้ำ

4.3 ความเป็นกรด-เบส

4.3.1 ผลของความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย

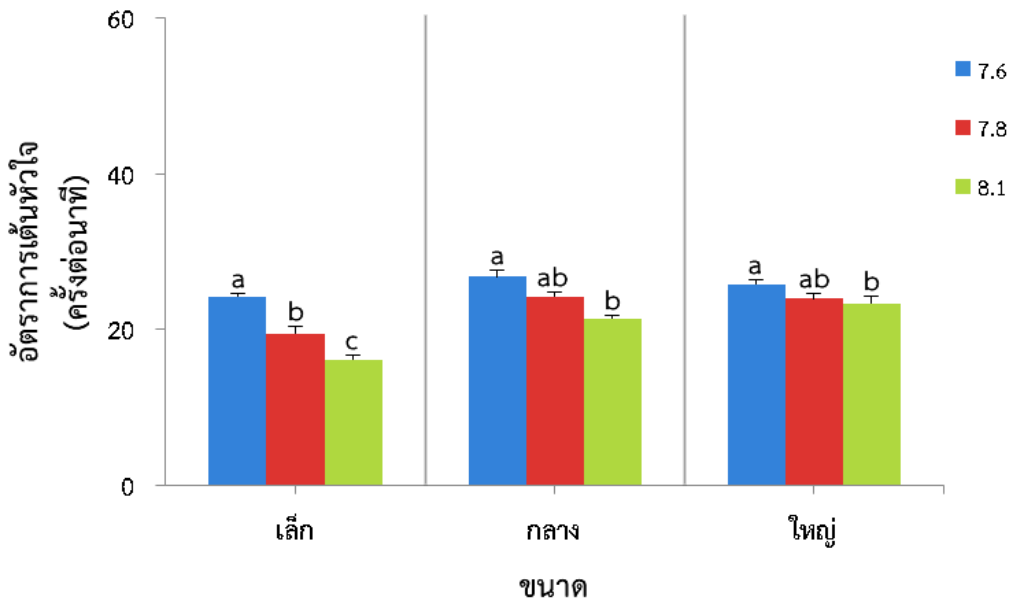
ผลของการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.6, 7.8 และ 8.1 (รูปที่ 4.7) พบว่า อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด (ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก) ที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.6 มีอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงสุด และรองลงมาคือ ที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.8 โดยอัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรด-เบสลดลง ทั้งนี้พบว่า อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดเล็กในแต่ละระดับความเป็นกรด-เบสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ขณะที่อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดกลางและขนาดใหญ่ในชุดทดลองความเป็นกรด-เบสที่ 7.6 มีความแตกต่างกับชุดการทดลองความเป็นกรด-เบสที่ 8.1 (ชุดควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



รูปที่ 4.7 อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ในระดับความเป็นกรด-เบส 7.6, 7.8 และ 8.1 (n=9)

4.3.2 ผลของความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย

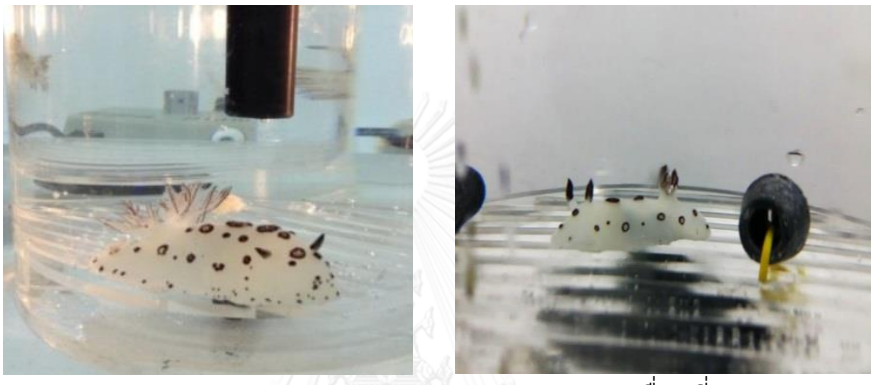
ผลของการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย (รูปที่ 4.8) พบว่า อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด (ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด-เบสลดต่ำลง โดยพบว่า ทากเปลือยที่ระดับความเป็นกรด-เบสที่ 7.6 มีอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด รองลงมาคือ ที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.8 ทั้งนี้ ทากเปลือยขนาดเล็กและขนาดกลางมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของความเป็นกรด-เบสทุกระดับได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้อัตราการเต้นหัวใจมีความแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในขณะที่ทากเปลือยขนาดใหญ่มีแนวโน้มของอัตราการเต้นหัวใจที่เพิ่มขึ้นในชุดการทดลองความเป็นกรดเบสที่ 7.6 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)



รูปที่ 4.8 อัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.6, 7.8 และ 8.1 (n=9)

4.3.3 ผลของความเป็นกรด-เบสต่อพฤติกรรมของทากเปลือย

ผลจากการทดลองปรับระดับความเป็นกรด-เบสต่ำลงจากชุดควบคุม (8.1) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-เบสส่งผลทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด มีแนวโน้มในการเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยที่ระดับความเป็นกรด-เบส 7.6 ในขณะเริ่มต้นการทดลองทากเปลือยขนาดเล็กมีการห่อตัวของเหงือกชั่วขณะ จากนั้นทากเปลือยมีพฤติกรรมเคลื่อนที่ไปมาตลอดการทดลอง (more active) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ตารางที่ 3)



A) ภาวะปกติ B) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา

รูปที่ 4.9 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของทากเปลือย โดย A) ภาวะปกติ และ B) ภาวะเคลื่อนที่ตลอดเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3 สรุปพฤติกรรมของทากเปลือยเมื่อปรับความเป็นกรด-เบสลดต่ำลงจากชุดควบคุม

ความเป็นกรด-เบส	พฤติกรรมของทากเปลือย
7.6	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่ไปมาในแนวราบตลอดการทดลองและขยับเหงือก โดยทากเปลือยขนาดเล็กเกิดการห่อตัวของเหงือกขณะเริ่มต้นการทดลอง
7.8	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่ไปมาในแนวราบและขยับเหงือก
8.1	ทากเปลือยมีการเคลื่อนที่เล็กน้อยและขยับเหงือก

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการศึกษา

5.1 อุณหภูมิ

จากผลการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย พบว่าทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด มีอัตราการบริโภคออกซิเจนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยโดยตรง ซึ่งสอดคล้องการทดลองในสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่น ๆ อาทิ หอย *Planaxis sulcatus*, *Crassostrea virginica*, หอย *Murex pomum* และหอย *Strombus pugilis*, หอย *Perna perna*, หอย *Polinices duplicatus* (Huebner, 1973) และหอย *Corbicula fluminea* (Huebner, 1973; Sander and Moore, 1977; Shumway and Koehn, 1982; Resgella et al., 2007; Al-Khateeb, 2009; Xiao et al., 2014) ทั้งนี้ การแปรผันของอัตราการบริโภคออกซิเจนที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนั้นเป็นไปตามทฤษฎีในสัตว์น้ำเลือดเย็น กล่าวคือสัตว์กลุ่มนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิร่างกายให้เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้สามารถยับยั้งการใช้พลังงานหรือทำให้ระดับการเผาผลาญพลังงานต่ำลงได้ และในสภาวะที่อุณหภูมิสูงการใช้พลังงานจึงสูงหรือมีผลให้ระดับการเผาผลาญพลังงานสูงขึ้น ซึ่งเป็นการปรับสภาวะในร่างกายให้เข้าสู่สภาวะสมดุล (homeostasis) (Al-Khateeb, 2009) นอกจากนั้น สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของอัตราการบริโภคออกซิเจนของสิ่งมีชีวิตเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปนั้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของร่างกายที่เกิดขึ้นภายในระดับเซลล์ (Hardy, 1979; Inyang and Nwankwo, 2004) โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปกติไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในร่างกาย (Al-Khateeb, 2009) มีผลให้สภาวะความเข้มข้นของคาร์บอนและค่าความเป็นกรด-เบส ภายในเลือดเกิดความผิดปกติ จนไปเปลี่ยนแปลงระดับความต้องการออกซิเจนให้สูงขึ้นหรือลดต่ำลง ซึ่งกระบวนการนี้ถูกควบคุมโดย physico-chemical reactions ภายใต้เซลล์ของสิ่งมีชีวิต (Lagler et al., 1977) ดังนั้นเมื่อระดับความต้องการออกซิเจนเปลี่ยนแปลงไป รูปแบบกลไกการทำงานภายในร่างกายและกิจกรรมที่แสดงออกจึงเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Hardy, 1979; Inyang and Nwankwo, 2004)

อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้อัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด มีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาในหอย *Littorina littorea* และหอย *Ligumia subrostrata* (Lowe and Trueman, 1972; Dietz and Tomkins, 1979) และทากเปลือยชนิด *Archidoris montereyensis* (Wiens and Brownell, 1990) ทั้งนี้ ระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในเลือดและเซลล์ถูกควบคุมโดยจังหวะการเต้นหัวใจ โดยกลไกการทำงานภายในระดับเซลล์ของร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้กิจกรรมต่างๆภายในร่างกายและการเต้นหัวใจเปลี่ยนแปลงไป (Braby and Somero, 2006) โดยทั่วไป การทำงานของเซลล์ประสาทมี pleural ganglion เป็นหน่วยควบคุมการทำงานของหัวใจ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับการเคลื่อนไหวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและเมื่อมีการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นการทำงานของเซลล์ประสาทจะเพิ่มสูงขึ้น การเต้นหัวใจก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม กลับพบว่า ผลจากการทำงานของเซลล์ประสาทในการควบคุมการไหลเวียนและสูบฉีดเลือดของหัวใจต่อการเต้นหัวใจมีผลน้อยกว่าผลที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตโดยตรง (Wines and Brownell, 1990) เช่นเดียวกับสัตว์กลุ่มหอยที่อัตราการเต้นหัวใจขึ้นกับระดับกิจกรรมหรือการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต (Dietz and Tomkins, 1979) สำหรับอัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย *J. furnebris* มีอัตราเต้นหัวใจเฉลี่ย 21 ครั้งต่อนาที ซึ่งใกล้เคียงกับการเต้นหัวใจของสัตว์กลุ่มหอยทั่วไปในสภาวะการเคลื่อนไหวแบบปกติตามธรรมชาติ (spontaneous) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20 ครั้งต่อนาที (Annexe, 2014) ในขณะที่ทากเปลือยชนิด *Archidoris montereyensis* มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31 ครั้งต่อนาที, หอยฝาเดียวชนิด *Busycon canaliculatum* มีอัตราการเต้นหัวใจอยู่ในช่วง 5-15 ครั้งต่อนาที (Jones, 1988) และหอย *Mytilus edulis* และ หอยแปดเกล็ด *Katherina tunicate* มีอัตราการเต้นหัวใจอยู่ระหว่าง 21-22 และ 17-18 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ (Stickle and Sabourin, 1979)

ในส่วนการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของทากเปลือย พบว่าพฤติกรรมของทากเปลือยมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง อาทิ หอยฝาเดียว (Hahn, 2004) ทั้งนี้ เมื่อทากเปลือยตกอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิลดต่ำลง เหงือกของทากเปลือยจะรวมกันเป็นช่อ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในสัตว์ทะเลกลุ่มหอย โดยอุณหภูมิที่ลดระดับต่ำลงมีผลให้ระดับการเผาผลาญพลังงานและประสิทธิภาพในการกรองออกซิเจนของเหงือกลดลง อันเป็นผลมาจากสัตว์น้ำต้องการลดต้นทุนพลังงานที่จะถูกใช้ในระหว่างกระบวนการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย จนมีผลต่อพฤติกรรมที่แสดงออกมาอย่างชัดเจน (Hilbish, 1975) นอกจากนั้น การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของทากเปลือยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจที่เกิดจากการกระตุ้นโดยอุณหภูมิ ซึ่งอัตราการบริโภคออกซิเจนที่เพิ่มสูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมที่เพิ่มสูงขึ้น (Duncan, 1966)

เนื่องจากทากเปลือยมีความต้องการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น จึงเคลื่อนที่ไปมาเร็วขึ้นกว่าจากสภาวะปกติ และมีการขยับเหงือกตลอดเวลา อาจเนื่องมาจากความต้องการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการขยับเหงือกจะช่วยให้น้ำไหลผ่านเหงือกได้มากขึ้น และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเหงือกกับน้ำทะเล (Inyang and Nwankwo, 2004; Resgella et al., 2007)

5.2 ความเค็ม

ผลของความเค็มต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด ในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นชุดการทดลองที่ระดับความเค็ม 25 อาจเนื่องมาจากที่ระดับความเค็มดังกล่าวเป็นระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของทากเปลือย และที่ระดับความเค็ม 40 ทากเปลือยมีอัตราการบริโภคออกซิเจนลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาในหอย *Potamophyrgus jenkinsi* (Duncan and Klekowski, 1967) ซึ่งเป็นไปได้ว่าที่ระดับความเค็มดังกล่าวเป็นระดับความเค็มวิกฤต (Critical point) ของทากเปลือย ในขณะที่ ระดับความเค็มที่ลดต่ำลง (20) และสูงขึ้น (35) ทากเปลือยมีอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาในหอยแปดเกล็ด *Katherina tunicate* และหอย *Mytilus edulis* (Stickle and Sabourin, 1979) และ *Nassarius festivus* (Cheung and Lam, 1995) ตามลำดับ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของระดับความเค็มมีผลให้สัตว์น้ำเกิดความเครียดจากความเครียดออสโมติก (osmotic stress) ซึ่งความเครียดดังกล่าวมีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและการเติบโตของสิ่งมีชีวิต (Gonzalez et al., 2015) โดยการลดลงของความเค็มมีผลให้สิ่งมีชีวิตต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการควบคุมไอออนภายในร่างกาย (osmoregulation) ในขณะที่สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง อาทิ หอย ไม่สามารถควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนภายนอกเซลล์ได้ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเค็มภายนอกร่างกาย จึงมีผลให้ความเข้มข้นออสโมติกภายในเซลล์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเริ่มจากการซึมผ่านของน้ำทะเลบริเวณผิวลำตัว (osmosis) มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนภายในเซลล์ โดยความเข้มข้นของไอออนดังกล่าวส่งผลให้เกิดวิกฤตต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมและส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ (Diehl, 1986) ตลอดจนมีผลต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น การออกหาอาหาร การดูดซึมสารอาหาร การเติบโต การสืบพันธุ์ สุขภาพทั่วๆไป และระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system) (Longley, 1994) ในกรณีที่ความเค็มเพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะทั่วไป สัตว์กลุ่มหอยจะรักษาแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ให้มีระดับต่ำกว่าภายนอกโดยการหยุดการเคลื่อนที่และระงับการแลกเปลี่ยนน้ำและเกลือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก (Berger and Kharazova, 1997) ทั้งนี้ ในกรณีที่ความเค็มสูงขึ้นหรือลดลงไปจากสภาวะปกติ มีผลให้อัตราการบริโภคออกซิเจนสูงขึ้น เนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตมีความต้องการให้พลังงานมากขึ้น

ในกระบวนการควบคุมสมดุลน้ำและเกลือแร่ภายในร่างกาย จึงมีผลให้สิ่งมีชีวิตมีอัตราการหายใจที่ถี่ขึ้น มีการเคลื่อนที่มากขึ้นเพื่อให้เหงือกสัมผัสกับน้ำทะเลได้มากขึ้น (Taylor, 1977)

จากการศึกษาผลของความเค็มต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย พบว่าทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด มีอัตราการเต้นหัวใจเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในกรณีที่เพิ่มขึ้นและลดลง (hypo-hyper salinity) สอดคล้องกับการศึกษาในหอย *Patella caerulea* (Bini et al., 2006) ทั้งนี้ พบว่าที่ระดับความเค็ม 20 ทากเปลือยมีอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และเมื่อความเค็มสูงขึ้นถึงระดับความเค็มที่มากกว่าหรือเท่ากับ 40 มีผลให้อัตราการเต้นหัวใจลดลงอย่างฉับพลัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในหอย *Potamopyrgus jenkins* (Duncan and Klekowski, 1967) และความเค็มที่ลดระดับลงต่ำกว่าชุดควบคุมมีผลให้อัตราการเต้นหัวใจของหอย *Mytilus edulis* เพิ่มสูงขึ้น (Stickle and Sabourin, 1979) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของความเค็มมีผลให้สัตว์กลุ่มหอยมีภาวะหัวใจเต้นผิดปกติ โดยความผิดปกติดังกล่าวเกิดจากความเครียดออสโมติก (osmotic stress) ซึ่งถูกควบคุมโดย neuronal pathway (Bini et al., 2006) ซึ่งสัมพันธ์กับความต้องการพลังงานต้นทุน (energic cost) ของกิจกรรมที่เพิ่มสูงขึ้น เช่น การเคลื่อนที่เพื่อหลีกหนีความเครียดที่เกิดขึ้น หรือการควบคุมระบบสมดุลน้ำและไอออนภายในเซลล์ (isosmotic intracellular regulation) (De Pirro et al., 1999) ในขณะที่สัตว์กลุ่มหอยต้องเผชิญกับความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่สูงขึ้น สัตว์กลุ่มนี้จะหยุดการเต้นหัวใจ การหดตัวของเหงือก เพื่อจำกัดการแลกเปลี่ยนน้ำและไอออนกับสภาวะที่ไม่เหมาะสม (Bini et al., 2006)

การศึกษาพฤติกรรมของทากเปลือยในภาวะที่ระดับความเค็มมีการเปลี่ยนแปลง พบว่าความเค็มมีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่และกิจกรรมทั่วไปของหอยฝาเดียว (Duncan and Klekowski, 1967) โดยเมื่อทากเปลือยอยู่ในภาวะที่มีระดับความเค็มสูงมาก ทากเปลือยมีการหดลำตัวและเหงือก โดยเหงือกเป็นอวัยวะหลักที่ใช้ในการหายใจ (Harris, 1973) และในขณะเดียวกันหากสัตว์กลุ่มหอยที่ลำตัวถูกปกคลุมด้วยโครงร่างแข็ง เมื่อสัมผัสกับความเค็มที่สูงจนถึงระดับที่ไม่สามารถทนทานได้ สัตว์กลุ่มนี้จะหยุดการเคลื่อนที่และปิดแผ่นปิดเหงือก (operculum) เพื่อกักเก็บพลังงานไว้ใช้ในการรักษาสมดุลในร่างกาย (homeostasis) เช่นเดียวกับการศึกษาในหอย *Stramonita brasiliensis* (Veiga et al., 2015) ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเป็นการเพื่อป้องกัน Pallial organs จากความเครียดออสโมติก (osmotic stress) โดยสิ่งมีชีวิตจะเข้าสู่การดำรงชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobiosis) ซึ่งจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่เพื่อป้องกันการสูญเสียออกซิเจนภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสม (Brown and McLachlan, 1990) นอกจากทากเปลือยจะหยุดการเคลื่อนที่แล้ว ทากเปลือยยังขับเมือกออกสู่มวลน้ำ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมีผลต่อการอัตราการบริโภค

ออกซิเจนที่มีแนวโน้มลดต่ำลงกว่าภาวะทั่วไป (Cheung and Lam, 1995) ตรงกันข้ามกับที่ระดับความเค็มต่ำ ทากเปลือยมีพฤติกรรมที่เร้าต่อการเปลี่ยนแปลง โดยแสดงออกผ่านการเคลื่อนที่ เช่น เคลื่อนทีไปมาทั้งแนวราบและแนวดิ่ง รวมถึงไปยังจุดสูงสุดของภาชนะทดลอง ตลอดช่วงการทดลอง ส่งผลให้อัตราการใช้ออกซิเจนที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Duncan and Klekowski, 1967) โดยพฤติกรรมการเคลื่อนที่ดังกล่าวเกิดจากการที่ทากเปลือยมีความต้องการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเหงือกเพื่อใช้ในกระบวนการควบคุมสมดุลน้ำและเกลือแร่ในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น (Taylor, 1977)

5.3 ความเป็นกรด-เบส

การลดลงของระดับความเป็นกรด-เบส มีผลให้ทากเปลือยมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาในหอย *Ruditaper decussatus* (Fernández-Reiriz et al., 2012) หอย *Latermula elliptica* (Cummings et al., 2011) และหมึก *Illex itlecobrosus* (Portner, 1994) ทั้งนี้ การลดลงของความเป็นกรด-เบส ส่งผลต่อสมดุลการแลกเปลี่ยนไอออน (ion transport) ระหว่างผนังเซลล์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกผลิตขึ้นภายในเซลล์ระหว่างกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (Portner et al., 2004; Fabry et al., 2008) ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนไปเป็นไบคาร์บอเนต (bicarbonate) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ที่ชื่อว่า carbomic anhydrase โดยมีไฮโดรเจนไอออนเป็นบัฟเฟอร์ภายในเซลล์ ในขณะที่ไบคาร์บอเนตจะถูกถ่ายทอดสู่เซลล์อื่น ๆ และจับตัวกับคลอไรด์ไอออน (Cl^-) เพื่อขนส่งโมเลกุลโปรตีน (Fabry et al., 2008) ในสภาวะที่อัตราการเผาผลาญพลังงานสูง ความเข้มข้นของไอออน Na^+/K^+ และ H^+-ATPases ที่ทำหน้าที่ขนส่งโปรตีนก็จะสูงด้วย (Gibbs and Somero, 1990) ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเป็นการเพิ่มความสามารถในการควบคุมสมดุลของความเป็นกรด-เบสภายในร่างกาย (Thuesen et al., 2005) ทั้งนี้ ระดับความเป็นกรด-เบสที่ลดลงภายนอกร่างกายส่งผลต่อกลไกการควบคุมสมดุลกรด-เบสในร่างกาย โดยจะไปลดค่าความเป็นกรด-เบสและเพิ่มระดับความดันคาร์บอนในร่างกาย ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มระดับของการเผาพลาญพลังงาน (Reipschläger and Pörtner, 1996; Withers and Guppy, 1999) เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางสรีรวิทยาของทากเปลือย พบว่า เหงือกของทากเปลือยชนิด *J. furnebris* มีลักษณะเป็นช่ออยู่ภายนอกร่างกาย ซึ่งเหงือกมีบทบาทสำคัญในการจับออกซิเจนในมวลน้ำเพื่อกระบวนการเผาพลาญพลังงานในร่างกาย โดยเหงือกอาศัยโปรตีนในการจับออกซิเจน เช่นเดียวกับสัตว์ทะเลหลายชนิดที่อาศัยอวัยวะพิเศษในการรับออกซิเจนที่ผิวจากการจับของโปรตีนและส่งต่อสู่เนื้อเยื่อและเซลล์ (Fabry et al., 2008) และเนื่องจากสัตว์กลุ่มหอยมี

ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสที่ลดต่ำลง จึงมีผลให้มีความสามารถในการจับออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น (Reipschläger and Pörtner, 1996)

ในการศึกษาผลของความเป็นกรด-เบส พบว่าความเป็นกรด-เบสที่ 7.6 มีอัตราการเต้นหัวใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาปลา *Oryzias melastigma* พบว่าอัตราการเต้นหัวใจและการพัฒนาระบบหัวใจของระยะเอ็มบริโอและตัวอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ เมื่อสัมผัสกับความเป็นกรด-เบสที่ 7.2 (Mu et al., 2015) และจากการศึกษาในหอย *Littoria obtusata* พบว่าอัตราการเต้นหัวใจลดลงเมื่อสัมผัสกับความเป็นกรด-เบสที่ 7.6 (24 วัน) (Ellis et al., 2009) ทั้งนี้ความเป็นกรด-เบสที่ลดลงมีผลต่อกระบวนการควบคุมกรด-เบส (acid-base regulation) ในสภาวะที่มีระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดสูง (hypercapnia) มีผลให้อัตราการเผาพลาญพลังงานสูงขึ้นประกอบกับในเนื้อเยื่อมีระดับของ ADP (พลังงานที่ใช้ไปในกิจกรรมต่างๆของร่างกาย) ที่สูงกว่าสภาวะปกติจนมีผลไปลดอัตราส่วนของ ADP:ATP ในกระบวนการสร้างและสลายพลังงาน ซึ่งเป็นการสนับสนุนให้สิ่งมีชีวิตมีการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้น (Beniash et al., 2010; Thomsen and Melzner, 2010) อนึ่ง การลดลงของความเป็นกรด-เบส มีผลรบกวนหน้าที่การทำงานของอวัยวะที่ช่วยในการหายใจ (respiratory organ) มีผลให้สิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องใช้การพลังงานมากขึ้นเพื่อปรับให้ร่างกายเข้าสู่สภาวะสมดุล (Melatunan, 2012)

ส่วนของความเป็นกรด-เบสที่ลดต่ำลงมีผลต่อการแสดงออกของพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต (Alenius and Munguia, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในหอย *Littorina littereae* พบว่า เมื่อสัมผัสกับน้ำทะเลที่มีความเป็นกรด-เบสที่ 6.6 หอยชนิดนี้มีพฤติกรรมเคลื่อนที่เพื่อหลีกหนีเพิ่มมากขึ้นจนมีผลให้อัตราการเผาผลาญพลังงานเพิ่มสูงขึ้น (Bibby et al., 2007) ในขณะที่การศึกษาในปูชนิด *Sudannonautes floweri* ที่ระดับความเป็นกรด-เบสมีค่าต่ำหรือสูงกว่าระดับที่เหมาะสมแก่การดำรงชีวิต จะปล่อยเมือกออกมาจากเหงือก และลดระดับการบริโภคออกซิเจนลง เนื่องจากเหงือกไม่สามารถทำงานได้ (Inyang and Nwankwo, 2004) นอกจากนี้ ในสัตว์ทะเลเลือดเย็นในเขตน้ำขึ้นน้ำลง หากอาศัยอยู่ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-เบสลดลงอย่างมาก พลังงานส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในการดำเนินกิจกรรมหรือการเคลื่อนไหวและการสืบพันธุ์ (Paganini et al., 2014) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อกลไกการทำงานของร่างกายสิ่งมีชีวิตในทะเล (Harley et al., 2006)

อย่างไรก็ตามการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ความเค็มและความเป็นกรด-เบสต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายของทากเปลือยยังขาดข้อมูลในเชิงลึก อันเนื่องมาจากการดำรงชีวิตของทากเปลือยในธรรมชาติถูกควบคุมโดยหลายปัจจัย ดังนั้น จึงต้องทราบอย่างแน่ชัดว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงใดในร่างกายบ้าง จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาในระดับยีนส์ เนื่องจากการแปรผันของสิ่งแวดล้อม อาทิ อุณหภูมิ มีผลต่อรูปแบบการแสดงออกของยีนส์ (gene expression) ซึ่งมีผลไปจำกัดการทำงานของอวัยวะภายในร่างกาย (Podrabsky and Somero, 2004)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Aardt, W. V. and A. Voslo 1996. Modifications to an optocardiographic method for measurement of heart rate in a range of invertebrate species. South Africa Journal of Zoology 31: 97-100.

Al-Khateeb, S. O. 2009. Effect of body weight and acclimated temperature on the respiration physiology on seawater snail *Planaxis sulcatus*. journal of al-anbar university for pure science 3: 5.

Alenius, B. and P. Munguia 2012. Effects of pH variability on the intertidal isopod. *Paradella dianae*. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 45: 245-259.

Annexe, D. 2014. Le coeur au cours de (L'Evolution Animal). Chapter 5, Precis d'anesthesie cadiaque. 40 pp.

Beniash, E., A. Ivanina, N. S. Lieb, I. Kurochkin and I. M. Sokolova 2010. Elevated level of carbon dioxide affects metabolism and shell formation in oysters *Crassostrea virginica*. Marine Ecology Progress Series 419: 95-108.

Berger, V. J. and A. D. Kharazova 1997. Mechanisms of salinity adaptations in marine molluscs. Hydrobiologia 355: 115-126.

Bibby, R., P. Cleall-Harding, S. Rundle, S. Widdicombe and J. Spicer 2007. Ocean acidification disrupts induced defences in the intertidal gastropod *Littorina littorea*. Biology Letter 3: 699-701.

Bini, G., A. M. Pugliese, G. Pepeu and G. Chelazzi 2006. Nueronal control the cardiac responses to osmotic stress in the gastropod limpet *Patella caerulea*. Journal of Experimental Zoology 305A: 472-479.

Braby, C. E. and G. N. Somero 2006. Following the heart: temperature and salinity effects on heart rate in native and invasive species of blue mussels (genus Mytilus). The Journal of Experimental Biology 209: 2554-2566.

Brown, A. C. and A. McLachlan 1990. Ecology of Sundy Shores. Elsevier. Amsterdam. 91-122.

Butler, P. J., J. A. Green, I. L. Boyd and J. R. Speakman 2004. Measuring metabolic rate in the field: The pros and cons of the doubly labeled water and heart rate methods. Functional Ecology 18: 168-183.

Castille, J. R. and A. L. Lawrence 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus Penaeus. Comparative Biochemistry and Physiology 68A: 75-80.

Chavanich, S., V. Viyakarn, K. Sanpanich and L. G. Harris 2013. Diversity and occurrence of nudibranchs in Thailand. . Marine Biodiversity 43: 31-36.

Cheung, S. G. and S. W. Lam 1995. Effect of salinity, temperature and acclimation on oxygen consumption of *Nassarius festivus* (Powys, 1835) (Gastropoda: Nassariidae). Comparative Biochemistry and Physiology 111A: 625-631.

Claireaux, G. and J. P. Lagarde`re 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. Journal of Sea Research 42: 157-168.

Cummings, V., J. Hewitt, A. van Rooyen, K. B. Currie, S., S. N. Thrush, J., N. Barr, P. Heath and N. J. Halliday 2011. Ocean acidification at high latitudes: Potential effects on functioning of the antarctic bivalve *Laternula elliptica*
PLoS ONE 6(1): e16069.

Darumas, U., S. Chavanich and K. Suwanborirux 2007. Distribution patterns of renieramycin-producing sponge, *Xestospongia* sp. and its association with other reef organisms in the Gulf of Thailand. Zoological Studies 46: 695-704.

De Pirro, M., G. Santini and G. Chelazzi 1999. Cardiac responses to salinity variations in two differently zoned Mediteranean limpets. Journal of Comparative Physiology 169: 501-506.

Dekker, H., S. Hajisamae, H. Hobbelink, R. G. Moolenbeek, N. Ruttanadakul and C. Swennen 2001. The Molluscs of the southern Gulf of Thailand. Bangkok, Thailand, Biodiversity Research and Training Program. 210 pp.

Depledge, M. H. 1977. Cardiac activity of the shore crab, *Carcinus maenas* (L.). Comparative Biochemistry and Physiology. 60A: 65-67.

Diehl, W. J. 1986. Osmoregulation in echinoderms. Comparative Biochemistry and Physiology 84A: 199-205.

Dietz, T. H. and R. U. Tomkins 1979. The effect of temperature on heart rate of the freshwater mussel, *Ligumai subrostrata*. Comparative Biochemistry and Physiology 67A: 269-271.

Duncan, A. 1966. The oxygen of *Potamopyrgus jenkinsi*(Smith) (Prosobranchiata) in different temperatures and salinities. Verh Internat Verein Theor Angew Limnol 16: 1739-1751.

Duncan, A. and R. Z. Klekowski 1967. The influence of salinity on the survival, respiratory rate and heart beat of young *Potamopyrgus jenkinsi* (smith) prosobranchiata. Comparative Biochemistry and Physiology 22: 495-505.

Ellis, R. P., J. Bersey, S. D. Rundle, J. M. Hall-Spencer and J. I. Spicer 2009. Subtle but significant effects of CO_2 acidified seawater on embryos of the intertidal snail, *Littorina obtusata*. Aquatic Biology 5: 41-48.

Fabry, V. J., B. A. Seibel, R. A. Feely and J. C. Orr 2008. Impact of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. ICES Journal of Marine Sciences 65: 414-432.

Fernández-Reiriz, M. J., P. A.-S. Range, X.A., J. Espinosa and U. Labarta 2012. Tolerance of juvenile *Mytilus galloprovincialis* to experimental seawater acidification. Marine Ecology Progress Series 454: 65-74.

Gibbs, A. H. and G. N. Somero 1990. Na^+-K^+ adenosine triphosphatase activities in gills of marine teleost fishes, Changes with depth, size and locomotory activity level. Marine Biology 106: 315-321.

Gilles, R. 1983. Volume maintenance and regulation in animal cells : Some features and trends. Molecular Physiology 4: 3-16.

Gonzalez, P. M., G. Malange and S. Puntarulo 2015. Cellular Oxidant/Antioxidand Network: Update on the evironment effects over marine organisms The open Marine Biology Journal 9: 1-13.

Graham, J. B. 2005. Marine Biological Considerations Related to the Reverse Osmosis Desalination Project at the Encina Power Plant, Carlsbad, . Institution of Oceanography. Poseidon Resources, San Diego. Ph.D.: 109.

Gutowska, M. A., H. O. Portner and F. Melzner 2008. Growth and calcification in the cephalopod *Sepia officinalis* under elevated seawater pCO_2. Marine Ecology Progress Series 373: 303-309.

Hahn, T. 2004. Respiration rate in *Bithynia tentaculata* (L.) (*Gastropoda: Bithyniidae*) in response to acclimation temperature and acute temperature change. Journal of Molluscan Studies 71: 127-131.

Hardy, R. N. 1979. Temperature and animal life, Edward Arnold Publishers, London. 1970 - 1979.

Harley, C. D. G., A. R. Hughes, K. M. Hultgren, B. G. Miner, C. J. B. Sort, C. S. Thornber, L. F. Rodriguez, L. Tomanek and S. L. Williams 2006. The impacts of climate change in coastal marine system. Ecology Letters 9: 228-241.

Harris, L. G. 1973. Nudibranch associations. T. C. In: Cheng. Academic Press, New York, Current Topics in Comparative Pathobiology. 2: 213-315.

Hilbish, T. J. 1975. Respone of aquatic and aerial metabolic hates in the ribbed mussel *Geukensia demissa* (Dilluyn) to acute and prolonged change in temperature. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 105: 207-219.

Huebner, J. D. 1973. The effect of body size and temperature on the respiration of *Polinices duplicatus*. Comparative Biochemistry and Physiology 44a: 1185-1197.

Inyang, N. M. and E. L. Nwankwo 2004. Effects of temperature and pH on the oxygen consumption rate of Sudanonautes (*Convexonautes aubryi*) floweri (DE MAN) (Crustacea: Decapoda). Animal Research International 1(1): 16-22.

Jones, R. E., I. Beveridge, L. R. G. Cannon, M. S. Harvey, E. S. Nielsen, W. F. Ponder and J. Just 1998. Mollusca : The Southern Synthesis Fauna of Australia Part B., CSIRO Publishing, Melbourne. .

Lagler, K. F., J. E. Bardach and R. R. Miller 1977. Ichthyology, John Wiley and Sons Inc. New York. 545 pp.

Longley, W. L. 1994. Freswater inflows to Taxas bays and estuaries: ecological relationships and methods for determination of needs. Austin, Texas, Texas Water Development Board and Texas Parks and Wildlife Department. 386 pp.

Chulalongkorn University

Lowe, G. A. and E. R. Trueman 1972. The heart rate and water flow rates of *Mya arenaria* (Bivalvia: Mollusca) at different metabolic levels. Comparative Biochemistry and Physiology 41A: 487-494.

Marshall, D. J. and C. D. Mcquaid 1992. Relationship between heart rate and oxygen consumption in the intertidal limpets *Patella granularis* and *Siphonaria oculus*. Comparative Biochemistry and Physiology 103A: 297-300.

Marshall, D. J. and C. D. Mcquaid 1994. Seasonal and diel variations of in situ heart rate of the intertidal limpet *Siphonaria oculus* Kr. (Pulmonata). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 179: 1-9.

McAllen, R., D. Walker and A. Taylor 2002. The environmental effects of salinity and temperature on the oxygen consumption and total body osmolality of the marine flatworm *Procerodes littoralis*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 268: 103– 113.

Mu, J., J. Wang, N. Zheng and Y. Cong 2015. Interactive comment on "Effects of CO_2 driven ocean acidification on early life stages of marine medaka (*Oryzias melastigma*)". Biogeosciences Discuss 12: 878-885.

Munro, F. M. and C. A. Wingfield 1937. The activity and metabolism of poikilothermal animals in different latitudes. Proceedings of the Zoological Society 107: 275-282.

Parker, L. M., P. M. Ross, W. A. O'connor, H. O. Portner, E. Scanes and J. M. Wright 2013. Predicting the response of molluscs to the impact of ocean acidification. Biology 2: 651-692.

Picton, B. E. and C. C. Morrow 1994. A Field Guide to the Nudibranchs of the British Isles. . Immel Publishing Ltd. 20 Berkeley Street, Berkeley Square, London W1X 5AE. ISBN 1-898162-05-0.

Podrabsky, J. E. and G. N. Somero 2004. Changes in gene expression associated with acclimation to constant temperatures and fluctuating daily temperatures in an annual killfish *Austrofundulus limnaeus*. Journal Experiment of Biology 207: 2237-2254.

Portner, H. O. 1994. Coordination of metabolism acid-base regulation and haemocyanin function in cephalopods. In Physiology of Cephalopd Molluscs:

Lifestyle and Performance Adaptations Ed. By H.O. Portner, R.K. O'Dor, and D.L. MacMillan, Gordon and Breach, London. 131-148.

Portner, H. O. 1994. Coordination of metabolism, acid-base regulation and haemocyanin function in cephalopods. . Marine fresh water behaviore physiology 25: 131-148.

Portner, H. O. 2002. Climate change and temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchies of thermal torerance in animals. Comparative Biochemistry and Physiology 132: A739-761.

Portner, O. H., M. Langenbuch and A. Reipschlager 2004. Biological impact of elevated ocean CO_2 concentrations: lessons from animal physiology and earth history. Journal of Oceanography 60: 705-718.

Precht, H., J. Christophersen, H. Hensel and W. Larcher 1973. Temperature and life Springer-velarge, Berliln, New York. 19.

Reipschläger, A. and H. O. Pörtner 1996. Metabolic depression during environmental stress: the role of extracellular versus intracellular pH in *Sipunculus nudus*. Journal of Experimental Biology 199: 1801-1807.

Resgella, C. J., E. D. S. Brasil and S. L.C. 2007. The effect of temperature and Salinity on the physiological rates of the Mussel *Perna perna* (Linnaeus 1758). Brazilian archives of biology and technology 50: 543-556.

Rosa, R. and B. A. Seibel 2008. Synergistic effects of climate-related variables suggest future physiological impairment in a top oceanic predator. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 105: 20776-20780.

Rovero, F., R. N. Hughes and G. Chelazzi 1999. Cardiac and behavioral responses of mussels to risk of predation by dogwhelks. Animal Behaviour 58: 707-714.

Sander, F. and E. A. Moore 1977. Comparative respiration in the gastropods *Murex pomum* and *Strombus pugilis* at different temperature and salinity. Comparative Biochemistry and Physiology 60A: 99-105.

Sarah, K. 2014. "Stunning microscope view of a nudibranch heart beating." Retrieved 31 March, 2016, from

http://www.earthtouchnews.com/oceans/invertebrates/stunning-microscope-view-of-a-nudibranch-heart-beating.

Shumway, S. E. 1978. The effect of fluctuation salinity on respiration in gastropod mollusks. Comparative Biochemistry and Physiology 63A: 279-283.

Shumway, S. E. and R. K. Koehn 1982. Oxygen consumption in the American Oyster *Crassostrea virginica*. Marine Ecology-Progress Series 9: 59-68.

Stickle, W. B. and T. D. Sabourin 1979. Effects of salinity on the respiration and heart rate of the common mussel, *Mytilus edulis* L., and the black chiton, *Katherina tunicate* (Wood). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 41: 257-268.

Suwanborirux, K., S. Amnuoypol, A. Plubrukarn, S. Pummangura, A. Kubo, C. Tanaka and N. Saito 2003. Chemistry of renieramycin M. Part 3: Isolation and structure of stabilized renieramycin type derivatives processing antitumor activity from Thai sponge *Xestospongia* species, pretreated with potassium cyanide. Journal of Natural Products 66: 1441-1446.

Taylor, A. C. 1977. The respiratory responses of *Carcinus meanus* (L.) to change in environment salinity. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 29: 197-210.

Thomsen, J. and F. Melzner 2010. Moderate seawater acidification does not elicit long-term metabolic depression in the blue mussel *Mytilus edulis*
Journal of Marine Biology 157: 2667-2676.

Thuesen, E. V., K. D. McCullough and J. J. Childress 2005. Metabolic enzyme activities in swimming muscle of mesusae: is the scaling of glycolytic activity related to oxygen availability? Journal of the Marine Biological Association of the UK 85: 603-611.

Veiga, M. P. T., S. M. M. Gutierre, G. C. Castellano and C. A. Freire 2015. Tolerance of high and low salinity in the intertidal gastropod *Stramonita brasiliensis* (Muricidae): behaviour and maintenance of tissue water content. Journal of Molluscan Studies 1–7. doi:10.1093/mollus/eyv044: 1-7.

Wiens, B. L. and P. H. Brownell 1990. Characterization of cardiac innervation in the nudibranch, *Archidoris montereyensis*. Journal of Comparative Physiology 167: 51-60.

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

Withers, P. and M. Guppy 1999. Metabolic depression in animals: physiological perspectives and biochemical generalizations. Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society 74(1): 1-40.

Xiao, B., E. Li, Z. Du, R. Jiang, L. Chen and N. Yu 2014. Effect of temperature and salinity on metabolic rate of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Muller, 1774). . SpringerPlus 3: 445-453.

นลินี รัศมีธรรมาธิกุลม 2549. อัตราการเติบโตและพัฒนาการของไข่ในทากเปลือย *Jorunna funebris* Kelaart, 1858, โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 25 หน้า.

สุชนา ชวนิชย์, วรณพ วิยกาญจน์ และ Harris, L.G. 2554. ชีววิทยาของทากเปลือย. กรุงเทพฯ. 56 หน้า.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนเรนทร์ฤทธิ์ ชิ้นฟัก เกิดวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ปีการศึกษา 2254 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555 ระหว่างศึกษาได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยวิทยานิพนธ์จาก “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2557

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการโดยการตีพิมพ์บทความ รวมถึงการนำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ในงานประชุมวิชาการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

บทความทางวิชาการ

นเรนทร์ฤทธิ์ ชิ้นฟัก, สุชนา ชวนิชย์ และ วรณพ วิยกาญจน์ ผลของความเค็มต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนและพฤติกรรมของทากเปลือย Jorunna funebris (Kelaart, 1858) ในรายงานการประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 7 “ทรัพยากรไทย: หวนดูทรัพย์สิ่งสินตน” ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2559

การนำเสนองานผลงานทางวิชาการ

Chinfak, N., Chavanich, S., and Viyakarn, V. 2014. Preliminary effect of salinity on the oxygen consumption rate of Nudibranch, Jorunna funebris (kelaart, 1858). IOC/WWSTPAC-CorReCAP Project 3rd Summer School, Resilience of Coral Reefs to the Climate Change and Anthropogenic Disturbances, Nah Trang, Vietnam, 18-21 April 2014 (Oral presentation)

Chinfak, N., Chavanich, S., and Viyakarn, V. 2016. Effects of temperature and salinity on the oxygen consumption rates and behaviors of the nudibranch, jorunna funebris (kelaart, 1858). 13th International Coral Reef Symposium, Honolulu, Hawaii, USA, 19-24 June 2016 (Poster presentation)