รายงานการวิจัย

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
สนองพระราชดำริ โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง

บทบาทและความสำคัญของทากเปลือย *Jorunna funebris* ในระบบนิเวศ
ระยะที่ 2: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะทะเลกรด ปีที่ 2
Important roles of the nudibranch, *Jorunna funebris*,
in the ecosystems Phase II: Changing climate and ocean acidification
Year 2

รองศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์
รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2561

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งบประมาณ 2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และ หน่วยบัญชาการสงครามพิเศษทางเรือ กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานในพื้นที่ ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนิสิตกลุ่มการวิจัยชีววิทยาปะการัง รวมถึง ผู้สนับสนุนการปฏิบัติงานทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานทั้งหมดเป็นอย่างดีตลอดมา

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือย พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือยสูงขึ้น ทากเปลือยที่ระดับอุณหภูมิที่ 38 ºC มีอัตราการบริโภคออกซิเจนและการเต้นของหัวใจสูงสุด รองลงมาคือที่ระดับอุณหภูมิ 33 ºC และเมื่ออุณหภูมิต่ำลง อัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือยจะต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ และจากการวิเคราะห์ปริมาณการผลิตสาร renieramysin ที่สะสมในร่างกายของทากเปลือยในอุณหภูมิที่ต่างกันพบว่า ทากเปลือยที่ถูกเลี้ยงในอุณหภูมิที่ 28 C มีการผลิตสาร renieramycin M ที่สูงกว่า ทากเปลือยที่ถูกเลี้ยงในระบบเลี้ยงที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนั้นอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้การทำงานของส่วนต่างๆในทากเปลือยเปลี่ยนไป

คำสำคัญ: ทากเปลือย โจรันนา ประชากร

Abstract

The effects of temperature levels on the nudibranch, *Jorunna funebris*, were investigated. The results showed that when temperatures were high, the oxygen consumptions and the heart rates of the nudibrnachs were higher. On the other hand, when the temperatures were lower, the oxygen consumption and heart rate was lower. In addition, the temperatures also had an effect on the production of secondary metabolite, renieramysin. At 28 C, the nudibranch produced high renieramycin M. Thus, the changes of temperatures can have a significant effect on the body system of the nudibranchs.

Keywords: nudibranch, *Jorunna funebris*, population

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อภาษาไทย	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
สารบัญเรื่อง	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญรูป	vi
1. บทนำ	1
2. สำรวจเอกสาร	2
3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
4. ขอบเขตของการศึกษา	3
5. วิธีดำเนินการศึกษา	3
6. สถานที่ทำการศึกษา	4
7. ผลการศึกษา	4
8. สรุปและวิจารณ์	7
9. เอกสารอ้างอิง	7

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณการสะสมของสาร renieramycin M ในทากเปลือย *Jorunna funebris* ในอุณหภูมิต่างๆ 6

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.	อัตราการการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างกัน	5
รูปที่ 2.	อัตราการการเต้นของหัวใจของทากเปลือยขนาดต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างกัน	6

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สนองพระราชดำริโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทบาทและความสำคัญของทากเปลือย *Jorunna funebris* ในระบบนิเวศ ระยะที่ 2: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะทะเลกรด ปีที่ 2

Plant Genetic Conservation Project under the Royal Initiative of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn – Chulalongkorn University

Important roles of the nudibranch, *Jorunna funebris*, in the ecosystems Phase II: Changing climate and ocean acidification Year 2

สุชนา ชวนิชย์ และ วรณพ วิยกาญจน์

Suchana Chavanich and Voranop Viyakarn

กลุ่มการวิจัยชีววิทยาแนวปะการัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Reef Biology Research Group, Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phyathai road, Patumwan, Bangkok 10330, THAILAND

1. บทนำ

ในแนวปะการัง ทากเปลือยจัดเป็นสัตว์ที่มีความสวยงามที่สุดกลุ่มหนึ่ง ทากเปลือย (nudibranchs) เป็นสัตว์ทะเลจำพวกหอย (Phylum Mollusca) ในกลุ่มหอยฝาเดียว (Class Gastropoda) ที่ไม่มีเปลือกแข็งห่อหุ้มลำตัว ซึ่งเป็นผลมาจากการวิวัฒนาการของหอยทะเลกลุ่มนี้ที่ลดรูปของเปลือกแข็งในระยะแรกที่เป็นตัวอ่อน จึงทำให้ทากเปลือยมีกลไกที่หลากหลายในกระบวนการดำรงชีวิตเพื่อป้องกันตนเอง เช่น การมีสีสันที่เด่นและสะดุดตาซึ่งไม่เพียงใช้ในการแสดงตัว แต่ยังเป็นการข่มขู่ศัตรูในธรรมชาติ การพรางตัวให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อม การเลียนแบบสิ่งมีชีวิตอื่นที่มีพิษ ตลอดจน การสร้างสารทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อป้องกันตนเอง เป็นต้น ทากเปลือย *Jorunna funebris* เป็นทากเปลือยที่พบอาศัยอยู่กับฟองน้ำสีน้ำเงิน (*Xestospongia* spp.) หรือไฮดรอย์ (hydroid) ในแนวปะการัง โดยพบกระจายทั่วไปในเขตร้อน บริเวณมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก รวมถึงในน่านน้ำไทย ทากเปลือยชนิดนี้สามารถผลิตสารเคมีกลุ่ม jorumycin และ renieramycin ที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียและมะเร็งบางชนิด ที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทากเปลือย *Jorunna funebris* ในบทบาทและความสำคัญที่มีต่อระบบนิเวศ ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (โครงการ อพ.สธ.) สนองพระราชดำริโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับ หน่วยบัญชาการสงครามพิเศษทางเรือ กองทัพเรือ โดยเน้นการผลิตเชิงเพาะเลี้ยงเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และเภสัชกรรม อย่างไรก็ตาม จากสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันซึ่งผลต่อสภาพภูมิอากาศและทะเล ทำให้ทากเปลือยดังกล่าวทั้งในธรรมชาติและที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงอาจได้รับผลเชิงลบเช่นกัน

2. สำรวจเอกสาร

ในแนวปะการัง ทากเปลือยจัดเป็นสัตว์ที่มีความสวยงามที่สุดกลุ่มหนึ่ง ทากเปลือย (nudibranchs) เป็นสัตว์ทะเลจำพวกหอย (Phylum Mollusca) กลุ่มหอยฝาเดียว (Class Gastropoda) ที่มีส่วนเท้าติดกับส่วนท้อง ทากเปลือยมีความหลากหลายของจำนวนชนิดสูง พบเป็นจำนวนมากกว่า 900 ชนิดทั่วโลก ทั้งนี้ ทากเปลือยถูกจำแนกออกเป็น 4 อันดับย่อย ได้แก่ Doridacea, Dendronotacea, Arminacea และ Aeolidacea ในอันดับ Nudibranchia (Jensen 2000) ทากเปลือยโดยทั่วไปเป็นสัตว์ที่มีเปลือกในระยะแรกของการเป็นตัวอ่อน และทำการทิ้งเปลือกภายหลังที่ฟักออกจากไข่ ส่วนของลำตัวไม่แบ่งเป็นปล้อง มีสมมาตรซ้ายขวา ประกอบด้วยส่วนหัว ส่วนเท้า แมนเติล และอวัยวะภายใน (Harris 1973; Thompson 1976; Behrens 1991)

การกระจายของทากเปลือยจะพบได้ตั้งแต่ชายฝั่งจนถึงทะเลลึก เขตร้อนจนถึงเขตหนาว (Clark 1975; Nybakken 1978; Gosliner and Drahein 1996; Cobb and Willan 2006; Debelius and Kuiter 2007) เป็นสัตว์ที่พบได้ยาก สามารถพบได้ตามซอกหิน ปะการัง ฟองน้ำ เพรียงหัวหอม สาหร่ายทะเล หญ้าทะเล เป็นต้น โดยส่วนใหญ่พบอาศัยตามแหล่งอาหาร (Thompson 1964; Harris 1973; Grzimek 1984) โดยเป็นสัตว์กินเนื้อเป็นอาหาร และมีการเลือกชนิดของอาหารและมีวิธีการกินที่แตกต่างกัน แหล่งอาหารทากเปลือย เช่น ฟองน้ำ ไนดาเรีย ไบรโอซัว เพรียงหัวหอม ไข่ปลา รวมถึง ทากเปลือยกลุ่มอื่น เป็นต้น บางชนิดกินเหยื่อทั้งตัว บางชนิดกินเฉพาะส่วนภายในของเหยื่อ จากความแตกต่างของชนิดและวิธีการกินอาหารทำให้ทากเปลือยมีลักษณะหรือแผงฟันที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ทากเปลือยส่วนใหญ่ออกหากินในเวลากลางคืน (Harris 1973; Thompson 1976; Jones et al 1998; Jensen 2000)

โดยปกติทากเปลือยเป็นสัตว์ที่มี 2 เพศในตัวเดียวกัน (กระเทย) มีกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ทั้ง 2 เพศพร้อมกัน ทากเปลือยวางไข่โดยการสร้างเมือกที่มีความแข็งแรงห่อหุ้มไข่ที่มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม โดยกลุ่มของไข่มีรูปร่าง ลักษณะ ขนาด และสีที่หลากหลาย เช่น มีลักษณะขดเป็นเกลียวยาว เป็นต้น พบการวางไข่บนสิ่งที่ยึดเกาะหรือบนแหล่งอาหารโดยตรง (Thompson 1976; Pawlik et al 1998) ระยะเวลาพัฒนาการของไข่แตกต่างกันตามชนิด ตั้งแต่ 2–3 วัน หรือเป็นเดือน เริ่มจากเป็นตัวอ่อนที่ดำรงชีพเป็นแพลงก์ตอน (planktotrophic larvae) พัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะ veliger ที่สามารถว่ายน้ำได้อิสระ และสุดท้ายเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อลงคืบคลานบนพื้นผิวกลายเป็นทากเปลือยระยะวัยอ่อนและวัยรุ่นที่มีลักษณะรูปร่างเหมือนพ่อแม่ต่อไป ทั้งนี้ ตัวอ่อนในระยะที่มีการว่ายน้ำได้อย่างอิสระสามารถแพร่กระจายเป็นระยะทางได้ไกลมากโดยอาศัยกระแสน้ำเป็นตัวนำพา (Harris 1973; Thompson 1976)

ทากเปลือยไม่มีเปลือกหุ่มร่างกาย ดังนั้น การที่ทากเปลือยปราศจากเปลือกแข็งห่อหุ้มร่างกาย จึงมีการพัฒนาในการสร้างกลไกป้องกันตัวจากผู้ล่าหลายรูปแบบ เช่น การพรางตัวให้เข้ากับสถานที่หรือเลียนแบบสัตว์อื่น การเคลื่อนไหวของอวัยวะบางส่วนเพื่อสร้างความตกใจให้กับศัตรู การสร้างสารทุติยภูมิที่มีความเป็นพิษต่อศัตรู เป็นต้น (Harris 1973; Thompson 1976) สารทุติยภูมิที่ทากเปลือยสร้างขึ้นมีหลากหลาย (Cimino et al 2001, 2004; Wahidullah et al 2006) สารเหล่านี้มีความเป็นพิษที่ทำให้สัตว์อื่นไม่สามารถกินทากเปลือยนั้นๆ เป็นอาหารได้ (Cimino and Ghiselin 1998; Cimino et al 1999) ทั้งนี้ การสร้างสารทุติยภูมิเพื่อป้องกันการถูกล่าพบในสัตว์กลุ่มอื่น โดยเฉพาะสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น ฟองน้ำ เพรียงหัวหอม

ไบรโอซัว ไฮดรอยด์ เป็นต้น (Fontana et al 2000, 2001; Faulkner 2002; Mayer and Gustafson 2003, 2006) สัตว์เหล่านี้ รวมถึง ปะการัง และ ดอกไม้ทะเล เป็นทั้งแหล่งอาหารและให้สารทุติยภูมิดังกล่าวแก่ทากเปลือย (Thompson 1976; Coleman 2001; Darumas et al 2007) ปัจจุบัน สารทุติยภูมิที่พบในทากเปลือยบางชนิดมีฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้ทากเปลือยเหล่านี้เป็นเป้าหมายทางการแพทย์ในการนำไปสกัดเป็นตัวยาชนิดใหม่ (Fontana et al 2000; Cimino et al 2001, 2004) เช่น ทากเปลือย *Jorunna funebris* ที่พบกระจายทั่วไปในเขตร้อน บริเวณมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก รวมถึงในน่านน้ำไทย ทากเปลือยชนิดนี้สามารถสร้างสารทุติยภูมิจากการกินฟองสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp. เป็นอาหาร (Karuso 1987; De Silva and Gulavita 1988; Fontana et al 2000; Darumas et al 2007) สารดังกล่าว ได้แก่ สารกลุ่ม renieramycins เช่นเดียวกับที่พบในฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp. (Kubo et al 1989; Oku et al 2003; Amnuoypol et al 2004; Nakao et al 2004) ซึ่งสารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งหลายชนิด (นำพร อินสิน และคณะ 2548; Fontana et al 2000, 2001; Suwanborirux et al 2003; Amnuoypol et al 2004; Saito et al 2004a, 2004b; Lane et al 2005, 2006; Darumas et al 2007)

ทากเปลือยที่พบกระจายในน่านน้ำไทยมีประมาณ 60 ชนิด (ณรงค์พล สิทธิทวีพัฒน์, 2544) โดยทากเปลือย *Jorunna funebris* เป็นทากเปลือยที่พบกระจายทั่วไปและเป็นกลุ่มเด่นในหลายพื้นที่ (ภัททิรา เกษมศิริ, 2547; สุชนา ชวนิชย์ และ วรณพ วิยกาญจน์, 2551) ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการศึกษาบทบาทและความสำคัญของทากเปลือย *Jorunna funebris* ในระบบนิเวศ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการผลิตทากเปลือยดังกล่าวในระบบเลี้ยงเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ต่อไป ซึ่งเป็นหนึ่งในการจัดการทรัพยากรโดยการใช้ประโยชน์ให้มีคุณค่าและยั่งยืนมากขึ้น เนื่องจากปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะอุณหภูมิ ส่งผลต่อระบบนิเวศทางทะเล รวมถึง สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศดังกล่าว จึงทำการศึกษาความสามารถในการผลิตสาร renieramycin ของทากเปลือย *Jorunna funebris* เมื่อได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

3.1 ร่วมสนองพระราชดำริ ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

3.2 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเติบโตและอัตรารอดของทากเปลือย

3.3 เผยแพร่บทบาทและความสำคัญของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในแนวปะการัง กรณีทากเปลือย ให้กับนักเรียน นิสิตนักศึกษา ชุมชน และผู้ที่สนใจ

4. ขอบเขตของการศึกษา

ติดตามผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเติบโตและอัตรารอดของทากเปลือย พร้อมบันทึกข้อมูลอุณหภูมิน้ำในระบบเพาะเลี้ยง

5. วิธีดำเนินการศึกษา

5.1 สัตว์ที่ใช้ในการศึกษา

ทากเปลือย *Jorunna funebris* Kelaart, 1858

5.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

5.2.1 เก็บตัวอย่างทากเปลือย *Jorunna funebris* Kelaart, 1858 พร้อมทั้งอาหาร ได้แก่ ฟองน้ำสีน้ำเงิน *Xestospongia* sp. โดยการดำน้ำลึกด้วยอุปกรณ์ช่วยหายใจใต้น้ำ ณ บริเวณหมู่เกาะแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ในความดูแลของกองทัพเรือที่ร่วมสนองพระราชดำริภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชฯ – กองทัพเรือ

5.2.2 ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเติบโตและอัตรารอดของทากเปลือย เป็นเวลา 4 เดือน

5.2.3 จัดกิจกรรมการเผยแพร่บทบาทและความสำคัญของทรัพยากรในทะเล โดยเฉพาะกิจกรรมค่ายสำหรับนักเรียน นิสิตนักศึกษา หรือ เข้าร่วมการประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงาน เป็นต้น ประมาณ 1 ครั้ง

6. สถานที่ทำการศึกษา

6.1 สถานที่เก็บตัวอย่างทากเปลือยและฟองน้ำสีน้ำเงิน

แนวปะการังแหลมปู่เจ้า อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ระดับความลึก 2 – 4 เมตร

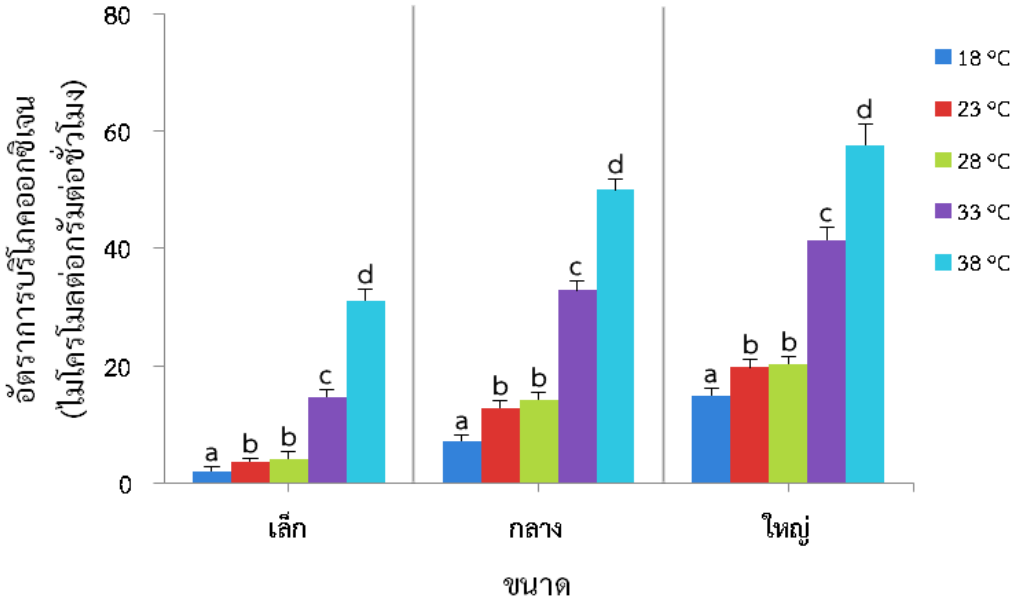
6.2 สถานที่ทำการศึกษา

ระบบเลี้ยงสัตว์ทะเล พิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

7. ผลการศึกษา

7.1 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือย

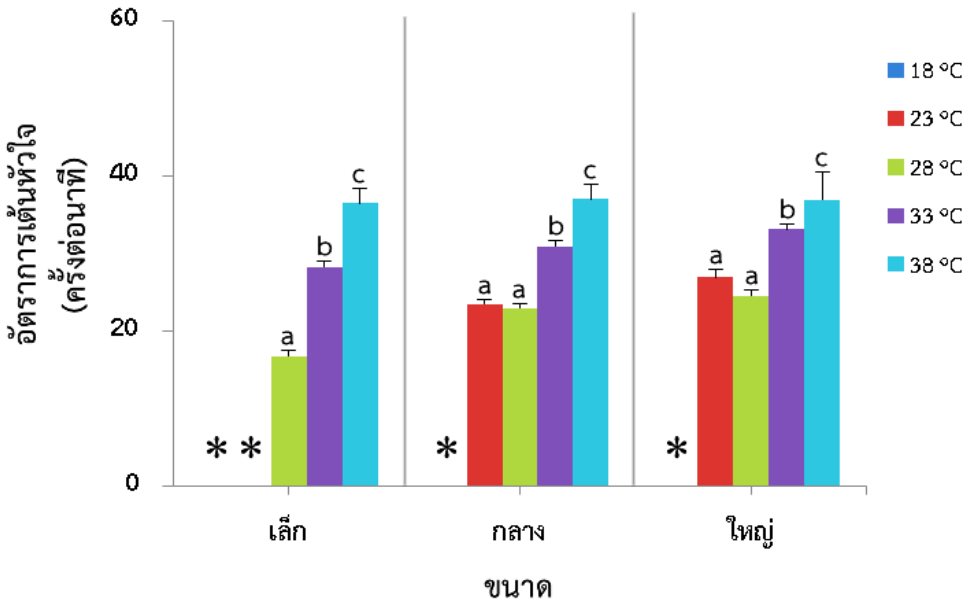
ศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อน้ำหนักต่อหน่วยเวลาของทากเปลือยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเค็ม 18, 23, 28, 33 และ 38 ºC ผลการศึกษา พบว่า ทากเปลือยที่ระดับอุณหภูมิที่ 38 ºC มีอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงสุด รองลงมาคือที่ระดับอุณหภูมิ 33 ºC สำหรับทากเปลือยที่ระดับอุณหภูมิ 18 ºC มีอัตราการบริโภคออกซิเจนต่ำสุด (รูปที่ 1) ทั้งนี้พบว่า อัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนส่งผลให้อัตราการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยทั้ง 3 ขนาด ในแต่ละระดับอุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ยกเว้นที่ระดับอุณหภูมิ 23 ºC อัตราการบริโภคออกซิเจนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 1 อัตราการการบริโภคออกซิเจนของทากเปลือยขนาดต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างกัน

7.2 ผลของความอุณหภูมิต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย

ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ออัตราการเต้นหัวใจของทากเปลือย (รูปที่ 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 2 อัตราการการเต้นของหัวใจของทากเปลือยขนาดต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างกัน

7.3 ผลของความอุณหภูมิต่อความสามารถในการผลิตสาร renieramycin

จากการวิเคราะห์ปริมาณการผลิตสาร renieramysin ที่สะสมในร่างกายของทากเปลือยในอุณหภูมิที่ต่างกันพบว่า ทากเปลือยที่ถูกเลี้ยงในอุณหภูมิที่ 28 C มีการผลิตสาร renieramycin M ที่สูงกว่า ทากเปลือยที่ถูกเลี้ยงในระบบเลี้ยงที่อุณหภูมิต่างๆ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณการสะสมของสาร renieramycin M ในทากเปลือย *Jorunna funebris* ในอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	สาร renieramycin M concentration (X1000 ng/g)
22C	0.60±0.20
25C	0.75±0.25
28C	0.83±0.26
31C	0.72±0.30
34C	0.63±0.19

8. สรุปและวิจารณ์

ผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือย พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือยสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิต่ำลง อัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจของทากเปลือยจะต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ

อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้อัตราการเต้นของหัวใจและการบริโภคออกซิเจนเนื่องจากระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในเลือดและเซลล์ถูกควบคุมโดยจังหวะการเต้นหัวใจ โดยกลไกการทำงานภายในระดับเซลล์ของร่างกายจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้กิจกรรมต่างๆภายในร่างกายและการเต้นหัวใจเปลี่ยนแปลงไป (Braby and Somero, 2006) นอกจากนี้ ยังอาจมีผลกระทบต่อการผลิตสารทุติยภูมิอีกด้วย (Braby and Somero, 2006)

ดังนั้น ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ มีผลกระทบอย่างมากต่ออัตราการเต้นของหัวใจ การบริโภคออกซิเจน และการผลิตสารทุติยภูมิของทากเปลือย

9. เอกสารอ้างอิง

ณรงค์พล สิทธิทวีพัฒน์. 2544. การสำรวจชนิดและการแพร่กระจายของทากเปลือยในแนวปะการังของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 250 หน้า.

นำพร อินสิน, พงศ์พโยม พหุลรัต, ลัดดา เตชะวิริยะทวีสิน. 2548. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารกลุ่ม บิสเตตราไฮโดรไอโซควิโนลีนแอลคาลอยด์จากทากเปลือย *Jorunna funebris* ด้วย HPLC. โครงการปริญญานิพนธ์. คณะเภสัชศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 36 หน้า.

ภัททิรา เกษมศิริ. 2547. การศึกษาวิจัยปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการวางไข่และการพัฒนาการของตัวอ่อนทากเปลือย : กรณีศึกษาจากทากเปลือยบริเวณเกาะหม้อในและเกาะหม้อนอก หมู่เกาะช้าง จังหวัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 181 หน้า.

สุชนา ชวนิชย์ และ วรณพ วิยกาญจน์. 2551. ทากเปลือย. ใน พจนา บุณยเนตร (บก), คู่มือทรัพยากรชีวภาพหมู่เกาะมัน. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ. 142-147.

Amnuoypol, S., Suwanborirux, K., Pummangura, S., Kubo, A., Tanaka, C., and Saito, N. 2004. Chemistry of renieramycins. Part 5. Structure elucidation of renieramycin-type derivatives O, Q, R, and S from Thai marine sponge *Xestospongia* species pretreated with potassium cyanide. *Journal of Natural Products* 67: 1023-1028.

Behrens, D.W. 1991. Pacific Coast Nudibranchs : A Guide to the Opisthobranchs Alaska to Baja California. Sea Challengers, Monterey, California. 106 pp.

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.

Cimino, G., Ciavatta, M.L., Fontana, A., and Gavagnin, M. 2001. Metabolites of marine opisthobranchs: Chemistry and biological activity. In: Tringali, C. (ed.), Bioactive compounds from natural sources – Isolation, characterization and biological properties. Taylor & Francis, London, pp. 579–637.

Cimino, G., Fontana, A., Cutignano, A., and Gavagnin, M. 2004. Biosynthesis in opisthobranch molluscs: General outline in the light of recent use of stable isotopes. *Phytochemistry Reviews* 3: 285–307.

Cimino, G., Fontana, A., and Gavagnin, M. 1999. Marine opisthobranch molluscs: Chemistry and ecology in sacoglossan and dorids. *Current Organic Chemistry* 3: 327–372.

Cimino, G. and Ghiselin, M.T. 1998. Chemical defense and evolution in the Sacoglossa (Mollusca: Gastropoda: Opisthobranchia). *Chemoecology* 8: 51–60.

Clark, K.B. 1975. Nudibranch life cycles in the Northwet Anlantic and their relationship to the ecology of fouling communities. *Helgolander wiss Meeresunters* 27: 28-69.

Cobb, G. and Willan, R.C. 2006. Undersea jewels. A colour guide to nudibranchs. Canberra, Australia: Australian Biological Resources Study, 310 pp.

Coleman, N. 2001. 1001 Nudibranchs : Catalogue of Indo-Pacific Sea Slugs. Agency Limited. 144 pp.

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

Debelius, H. and Kuiter, R. 2007. Nudibranchs of the world. Frankfurt, Germany: IKAN-Unterwasserarchie, 360 pp.

De Silva, E.D. and Gulavita, N.K. 1988. Isoquinolinequinones from a marine sponge *Xestospongia* sp. and the nudibranch *Jorunna funebris*. IUPAC, International Symposium on Chemical Natural Products 16, 610.

Faulkner, D.J. 2002. Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* 19; 1-48.

Fontana, A., Cavaliere, P., Wahidullah, S., Naik, C.G., and Cimino, G. 2000. A new antitumor isoquinoline alkaloid from the marine nudibranch *Jorunna funebris*. *Tetrahedron* 56: 7305–7308.

Fontana, A., Ciavatta, M., D'Souza, L., Mollo, E., Naik, C.G., Parameswaran, P.S., Wahidulla, S., and Cimino, G. 2001. Selected chemo-ecological studies of marine opisthobranchs from Indian coasts. *Journal of the Indian Institute of Science* 81: 403-415.

Gosliner, T.M. and Drahein, R. 1996. Indo-Pacific opisthobranch gastropod biogeography: How do we know what we don't know? *American Malacological Bulletin* 12: 37-43.

Grzimek, B. 1984. Grzimek's Animal Life Encyclopedia. Vol. 3. Mollusks and Echinoderms. Van Nostrand Reinhold, London. 138 pp.

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

Jensen, K.R. 2000. An outline of the systematic and classification of Nudibranchia (Gastropoda, Opisthobranchia). *Phuket Marine Biological Center Special Publication* 21: 431-446.

Jones, R.E., Beveridge, I., Cannon, L.R.G., Harvey, M.S., Nielsen, E.S., Ponder, W.F., and Just, J. 1998. Mollusca : The Southern Synthesis Fauna of Australia Part B. Vol. 5. CSIRO Publishing, Melbourne.

Karuso, P. 1987. Chemical ecology of the nudibranchs. In: Schueur, P.J. (ed.), Bioorganic Marine Chemistry, vol. 1. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 31–60.

Kubo, A., Kitahara, Y., and Nakahara, S. 1989. Synthesis of new isoguinolinequinone metabolites of a marine sponge, *Xestospongia* sp., and the nudibranch, *Jorunna funebris*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 37: 1384-1386.

Lane, J.W., Chen, Y., and Williams, R.M. 2005. Asymmetric total syntheses of (-)-jorumycin, (-)-renieramycin G, 3-epi-jorumycin, and 3-epi-renieramycin G. *Journal of the American Chemical Society* 127: 12684-12690

Lane, J.W., Estevez, A., Mortara, K., Callan, O., Spencerc, J.R., and Williams, R.M. 2006 Antitumor activity of tetrahydroisoquinoline analogues 3-epi-jorumycin and 3-epi-renieramycin G. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters* 16: 3180-3183.

Mayer, A.M.S. and Gustafson, K.R. 2003. Marine pharmacology in 2000 : Antitumor and cytotoxic compounds. *International Journal of Cancer* 105: 291–299.

Mayer, A.M.S. and Gustafson, K.R. 2006. Marine pharmacology in 2003 - 2004 : Antitumor and cytotoxic compounds. *European Journal of Cancer* 42: 2241-2270.

Nakao, Y., Shiroiwa, T., Murayama, S., Matsunaga. S., Goto, Y., Matsumoto, Y., and Fusetani, N. 2004. Identification of renieramycin A as an antileishmanial substance in a marine sponge *Neopetrosia* sp. *Marine Drugs* 2: 55-62.

Nybakken, J. 1978. Abundance, diversity, and temporal variability in a California intertidal nudibranch assemblage. *Marine Biology* 45: 129-146.

Oku, N., Matsunaga, S., van Soest, R.W.M., and Fusetani, N. 2003. Renieramycin J, a highly cytotoxic tetrahydroisoquinoline alkaloid, from a Marine Sponge Neopetrosia sp. *Journal of Natural Products* 66: 1136-1139.

Pawlik, J.R., Kernan, M.R., Molinski, T.F., Harper, M.K., and Faulkner, J. 1998. Defensive chemicals of spanisch dancer nudibranch *Hexabranchus sanguineus* and its egg ribbons : Macrolides derived from a sponge diet. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. 119: 99-109.

Saito, N., Tanaka, C., Koizumi, Y., Suwanborirux, K., Amnuoypol, S., Pummangura, S., and Kubo, A. 2004a. Chemistry of renieramycin M. Part 6. Transformation of renieramycin M into jorumycin and renieramycin J including oxidative degradation products, mimosamycin, renieone, and renierol acetate. *Tetrahedron* 60: 3873-3881.

Saito, N., Tanaka, C., Satomi, T., and Oyama, C. 2004b. Chemistry of renieramycins. Part 4. Synthesis of a simple natural marine product, 6-hydroxy-7-methoxyiso-quinolinemethanol. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 52: 282-286.

Suwanborirux, K., Amnuoypol, S., Plubrukarn, A., Pummangura, S., Kubo, A., Tanaka, C., and Saito, N. 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.

Thompson, T.E. 1964. Grazing and the life cycles of British nudibranchs. *British Ecological Society Symposium* 4: 275-297.

Thompson, T.E. 1976. Biology of Opisthobranch Molluscs, vol. 1. The Ray Society, London, U.K.. 207 pp.

Wahidullah Y.W.G., Fakhr, I.M.I. and Mollo E. 2006. Chemical diversity in Opisthobranch molluscs from scarcely investigated Indo-Pacific areas. In: Cimino, G. and Gavagnin, M. (eds.), Progress in Molecular and Subcellular Biology Subseries Marine Molecular Biotechnology: Molluscs. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 176-198.