

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ผลกระทบของปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว 2553 ต่อชนิดและความหลากหลาย
ทางพันธุกรรมของสาหร่ายซูแซนเทลลี (*Symbiodinium* spp.) ที่อาศัยอยู่ร่วมกับ
ปะการังอ่อนสกุล *Sinularia*

ทรรศิน ปณิธานะรักษ์

๕ Bk016509d
- 7 ก.ค. 2558

354943

เริ่มบริการ
- 8 ก.ค. 2558

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)
มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

กันยายน พ.ศ. 2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการทำวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 อนึ่ง โครงการวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างปะการังอ่อนบางส่วนจากงานวิจัย เรื่อง ความผันแปรของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะทางพันธุกรรมของปะการังอ่อน, *Sinularia* May, 1898 (Octocorallia: Alcyonacea) ที่พบบริเวณหาดนางรอง เกาะจรเข้มะและกลุ่มเกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี (ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.)) โดย ทรรคิน ปณิธานะรักษ์ และคณะ ซึ่งเป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปี ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552-2553

บทคัดย่อ

ปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 ที่เกิดขึ้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก ต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณแนวปะการังของทะเลอันดามันและอ่าวไทย การฟอกขาว คือ กระบวนการที่การอยู่อาศัยร่วมกันระหว่างปะการังเจ้าบ้านและสาหร่ายซูแซนเทลลี (dinoflagellate ในสกุล *Symbiodinium*) ยุติลง การอยู่อาศัยร่วมกันระหว่างสาหร่าย *Symbiodinium* กับปะการัง มีความสำคัญต่อผลผลิต การอยู่รอด และความสำเร็จในเชิงวิวัฒนาการของปะการัง สาหร่าย *Symbiodinium* ที่เกี่ยวข้องกับปะการังเจ้าบ้านจำแนกได้ 6 clade ตามความแตกต่างทางพันธุกรรม สาหร่ายแต่ละ clade มีการตอบสนองต่อความผันแปรของสิ่งแวดล้อมระบบนิเวศ และสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันไป ส่งผลต่อความยืดหยุ่นของปะการังต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและการฟอกขาว การศึกษานี้เป็นการสำรวจภาคสนามครั้งแรกถึงการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสาหร่าย *Symbiodinium* ในอ่าวไทย เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 2 ปี ซึ่งรวมช่วงเวลาของการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 การตรวจสอบ clade และความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ในปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ใช้การวิเคราะห์ความผันแปรของยีน ribosomal large subunit 23S Domain V ในคลอโรพลาสต์ จากตัวอย่างปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* จำนวน 69 ตัวอย่าง ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างบริเวณเกาะจระเข้และหมู่เกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ใน 2 ช่วงเวลา คือ ก่อน (พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ถึง มกราคม พ.ศ. 2553, n = 45) และหลัง (พฤศจิกายน พ.ศ. 2553, n = 24) ปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของประชาคมสาหร่าย *Symbiodinium* หลังปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว โดยก่อนหน้าการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว สาหร่าย *Symbiodinium* clade D ส่วนใหญ่ตรวจพบจากบริเวณเกาะจระเข้ และ clade C พบเป็นชนิดเด่นบริเวณหมู่เกาะจวง ตรงกันข้ามกับผลการศึกษาหลังการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวที่พบเฉพาะ clade D จากทั้งเกาะจระเข้และหมู่เกาะจวง

Abstract

Mass coral bleaching event in South East Asian countries in 2010 caused a severe damage on reef dwellers in the coast of the Andaman Sea and the Gulf of Thailand. Bleaching is a process where the symbiosis between corals and zooxanthellae (dinoflagellates of the genus *Symbiodinium*) breaks down. The symbiosis between *Symbiodinium* and corals is essential to the productivity, survival and success of corals. *Symbiodinium* associated with coral hosts is classified into six genetically distinct clades. Each clade possesses unique environmental, ecological and geographic variations, influencing the resilience of corals to elevated temperatures and bleaching. This study was the first field observation of changes in *Symbiodinium* communities in the Gulf of Thailand over two years including a natural bleaching event in April 2010. Phylogenetic clades and diversity of *Symbiodinium* inhabiting soft corals of the genus *Sinularia* were investigated using the analysis of chloroplast gene sequence variation at the ribosomal large subunit 23S Domain V. Sixty nine *Sinularia* samples were obtained from two sampling sites of Jorake and Juang Islands (Sattahip, Chonburi Province) during two sampling periods: before (November 2008-January 2010, n = 45) and after (November 2010, n = 24) the 2010 coral bleaching event. The results revealed a significant change in *Symbiodinium* community after the bleaching event. Before the bleaching event, most of *Symbiodinium* clade D was detected from Jorake Island while clade C was dominant in Juang Islands. In contrast, after the bleaching event, only clade D was identified from both sampling sites.

สารบัญ

| | หน้า |
|-----------------------------|------|
| หน้าหัวเรื่อง | i |
| กิตติกรรมประกาศ | ii |
| บทคัดย่อ | iii |
| สารบัญ | v |
| รายการตารางประกอบ | vi |
| รายการภาพประกอบ | vii |
| บทนำ | 8 |
| การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง | 10 |
| วิธีดำเนินการวิจัย | 12 |
| ผลการวิจัย | 16 |
| วิเคราะห์ผลการวิจัย | 20 |
| สรุปผลการวิจัย | 22 |
| เอกสารอ้างอิง | 23 |

รายการตารางประกอบ

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | จำนวนตัวอย่างปะการังอ่อนสกุล <i>Sinularia</i> ในแต่ละบริเวณและช่วงเวลา | 14 |
| 2 | ความถี่ของ haplotype ในสาหร่าย <i>Symbiodinium</i> ก่อนและหลังฟอกขาว | 19 |

รายการภาพประกอบ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 1 | แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างของเกาะจระเข้ และหมู่เกาะจง | 13 |
| 2 | ความถี่ของ <i>Symbiodinium</i> clade ก่อนและหลังการเกิดฟอกขาว | 16 |
| 3 | ตำแหน่งที่แสดงความผันแปรของลำดับทางพันธุกรรมบริเวณ cp23S rDNA | 18 |

บทนำ

ปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเมื่อเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2553 ที่ผ่านมา ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อแนวปะการังในฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทย โดยมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิน้ำทะเลสูงผิดปกติ จากรายงานการสำรวจร่วมกันของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และมหาวิทยาลัยต่าง ๆ พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทะเลตั้งแต่ปลายเดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ. 2553 สูงขึ้นจากปกติที่อุณหภูมิ 28-29 °C เป็น 30-34 °C ส่งผลให้แนวปะการังในน่านน้ำไทย โดยเฉพาะบริเวณฝั่งทะเลอันดามันเริ่มเกิดการฟอกขาวตั้งแต่เดือนเมษายน สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และสถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ ได้ร่วมกันสำรวจสภาพการฟอกขาวของปะการังที่เกิดขึ้นในบริเวณต่าง ๆ พบว่าแนวปะการังในทุกจังหวัดทางฝั่งทะเลอันดามันเกิดการฟอกขาวมากกว่า 70% ของปะการังที่มีชีวิตอยู่สำหรับสถานการณ์บริเวณแนวปะการังฝั่งอ่าวไทย เช่น เกาะกูด หมู่เกาะช้าง หมู่เกาะมัน หมู่เกาะแสมสารและเกาะช้างเคียง พบว่าการฟอกขาวมีความรุนแรงต่ำกว่า โดยเฉพาะสังคมปะการังในบริเวณอ่าวไทยตอนใน เช่น เกาะสีชัง เกาะครก เกาะสาก มีอัตราการฟอกขาวน้อยกว่าในบริเวณอื่น ๆ ของประเทศ ผลการสำรวจหลังการฟอกขาวในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2553 ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิของน้ำทะเลทางฝั่งทะเลอันดามันกลับมาสภาวะปกติ พบว่าแนวปะการังได้รับความเสียหายจากการฟอกขาวในระดับที่แตกต่างกันไปขึ้นกับสถานที่ ผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมและการรบกวนของมนุษย์ การที่ปะการังในน่านน้ำไทยมีการตายเป็นบริเวณกว้างในเวลาพร้อมกันเช่นนี้ นับเป็นความเสียหายอย่างรุนแรง โดยสรุปในภาพรวมของแนวปะการังทางฝั่งทะเลอันดามันมีการตายจากการฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 ประมาณ 50-60% และอ่าวไทยประมาณ 30-40% ของปะการังที่มีชีวิตทั้งหมด (คณะกรรมการแก้ไขปัญหาผลกระทบของการฟอกขาวต่อสถานภาพปะการัง 2553) ข้อมูลจากนักวิทยาศาสตร์และผู้เชี่ยวชาญพบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกทำให้อุณหภูมิของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่งผลให้การฟอกขาวของปะการังในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งและมีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายจึงควรร่วมกันหาแนวทางในการจัดการและบรรเทาปัญหาปะการังฟอกขาวที่เกิดขึ้น รวมถึงไปถึงการหาแนวทางในการรับมือกับสถานการณ์ดังกล่าวในระยะยาวต่อไป

ปะการังแต่ละชนิดในแนวปะการังซึ่งถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทะเลมีการตอบสนองต่อการฟอกขาว และมีการฟื้นตัวที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายซูแซนเทลลี (zooxanthellae) (dinoflagellate สกุล *Symbiodinium*) ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังเจ้าบ้าน แต่ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและความหลากหลายทางพันธุกรรมของสาหร่าย *Symbiodinium* ในน่านน้ำไทยยังมีการศึกษากันน้อยมาก บริเวณทะเลอันดามันมีรายงานการศึกษาโดย LaJeunesse et al. (2010) ที่สำรวจความหลากหลายของชนิดของสาหร่าย *Symbiodinium* ซึ่งอาศัยอยู่ร่วมกับปะการังเจ้าบ้านหลายชนิดในบริเวณแนวปะการังชายฝั่ง (แหลมพันวาและเกาะเฮ) และแนวปะการังไกลฝั่ง (เกาะพีพีตอน เกาะพีพีเล เกาะราชา และหมู่เกาะสิมิลัน) ของทะเลอันดามัน ส่วนบริเวณอ่าวไทย มีการศึกษาชนิดและความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ในปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ที่พบบริเวณแนวปะการังชายฝั่งของเกาะกระเช้ และแนวปะการังไกลฝั่งของหมู่เกาะจวงอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี (Panithanarak 2012) และยังไม่เคยมีการศึกษาวิจัยและติดตามการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชนิดและความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ในปะการังเจ้าบ้านอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ส่งผลให้ประเทศไทยยังขาดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับ

ชนิด ความหลากหลายทางพันธุกรรม และการปรับตัวในเชิงวิวัฒนาการของสาหร่าย *Symbiodinium* การตรวจสอบชนิดและความหลากหลายทางพันธุกรรมของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังโดยใช้เทคนิคทางอนุพันธุศาสตร์ จะทำให้เรามีความเข้าใจมากขึ้น เกี่ยวกับการตอบสนองของสาหร่ายแต่ละชนิดต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำทะเล และสภาพแวดล้อม และอาจทำให้ทราบถึงชนิดของสาหร่ายที่มีความต้านทานต่อการฟอกขาวได้ดี ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการอยู่รอดของปะการัง

ในบริเวณพื้นที่หมู่เกาะแสมสาร และเกาะช้างเค็ยง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เป็นหนึ่งในบริเวณแนวปะการังของทะเลอ่าวไทยที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 ผู้วิจัยเป็นหัวหน้าคณะนักวิจัยที่ได้สำรวจปะการังอ่อนในสกุล *Sinularia* ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวระหว่างปี พ.ศ. 2552-2553 (ทรงศรินทร์กษและคณะ 2554) และมีข้อมูลทางสัณฐานวิทยาและพันธุกรรมของปะการังอ่อน *Sinularia* ก่อนและหลังจากการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเป็นเวลา 7 เดือน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการศึกษาผลกระทบของปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดและความหลากหลายทางพันธุกรรมของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อน *Sinularia* ในบริเวณดังกล่าว โดยการวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะตรวจสอบชนิดและความหลากหลายทางพันธุกรรมของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อนในสกุล *Sinularia* โดยการวิเคราะห์ความผันแปรของลำดับทางพันธุกรรมบางส่วนบริเวณ chloroplast DNA พร้อมทั้งเปรียบเทียบชนิดและความหลากหลายทางพันธุกรรมของ *Symbiodinium* ก่อนและหลังการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 นอกจากนี้แล้วยังมีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบหาชนิดของ *Symbiodinium* ที่มีความต้านทานต่อการฟอกขาว อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวางแผนฟื้นฟูแนวปะการัง อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการบรรเทาและป้องกันผลกระทบอันจะเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวได้ในอนาคต

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ซูแซนเทลลี (zooxanthellae) เป็นชื่อที่รู้จักกันดีของสาหร่ายเซลล์เดียวในกลุ่ม dinoflagellates ซึ่งจัดอยู่ในสกุล *Symbiodinium* สาหร่าย *Symbiodinium* มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (mutualistic symbiosis) กับเจ้าบ้านซึ่งเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในทะเลหลายกลุ่มด้วยกัน เช่น ฟองน้ำ ปะการังและดอกไม้ทะเล หอยและหมึก เป็นต้น *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ภายในเนื้อเยื่อของปะการังเจ้าบ้านจะอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของปะการังในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ ในขณะที่ปะการังจะได้รับก๊าซออกซิเจนและสารอาหารส่วนใหญ่ที่เป็นผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่งผลให้การเจริญเติบโตและการรอดตายของปะการังเจ้าบ้านขึ้นอยู่กับสาหร่ายที่อาศัยอยู่ร่วมกัน

ปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเกิดขึ้นเนื่องจาก ปะการังเกิดความเครียดเพราะสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต เช่น อุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้น ความเค็มของน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สารเคมีบางประเภท และตะกอนสารแขวนลอยที่มากเกินไป ส่งผลให้ปะการังขับเอาสาหร่าย *Symbiodinium* ออกจากเซลล์ ปะการังจึงมีสีซีดลงหรือกลายเป็นสีขาว และหากปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเป็นระยะเวลาานติดต่อกัน จะส่งผลให้ปะการังอ่อนแอเพราะได้รับสารอาหารไม่เพียงพอและอาจตายในที่สุด ประเทศไทยเคยได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สูงขึ้นอย่างผิดปกติ ในปี พ.ศ. 2534 2538 2541 2546 2548 และ 2550 โดยในปี พ.ศ. 2534 และ 2538 แนวปะการังทางฝั่งทะเลอันดามันได้รับความเสียหายเป็นอย่างมาก พบว่าปะการังตายไปประมาณ 10-20% ส่วนในปี พ.ศ. 2541 เกิดความเสียหายมากในแนวปะการังฝั่งอ่าวไทย (กลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่ง 2553) ล่าสุดในปี พ.ศ. 2553 พบแนวปะการังในฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทยเกิดการฟอกขาวเป็นบริเวณกว้างสร้างความเสียหายมากเป็นประวัติการณ์ โดยมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงผิดปกติ (อุณหภูมิปกติประมาณ 28-29 °C) เป็นเวลานานต่อเนื่องกันหลายเดือนเริ่มตั้งแต่ปลายเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 ทางฝั่งทะเลอันดามันมีปะการังตายจากการฟอกขาวประมาณ 50-60% และทางฝั่งอ่าวไทย ประมาณ 30-40% ของปะการังมีชีวิตทั้งหมด ซึ่งการฟอกขาวครั้งนี้ยังมีรายงานว่าเกิดขึ้นทั่วภูมิภาคมหาสมุทรอินเดีย แถบตอนใต้ของอินเดีย ศรีลังกา มัลดีฟ ซีเชลส์ พม่า มาเลเซีย และอินโดนีเซีย (คณะกรรมการแก้ไขปัญหาผลกระทบของการฟอกขาวต่อสถานภาพปะการัง 2553) ผลกระทบจากปะการังฟอกขาวไม่เพียงส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์น้ำ แต่ยังรวมไปถึงวิถีชีวิตของชุมชนชายฝั่ง การท่องเที่ยวและธุรกิจจำนวนมากที่เกี่ยวข้องอันมีผลต่อเนื่องไปถึงรายได้ของประเทศ

การแก้ไขและบรรเทาปัญหาอันเกิดจากปะการังฟอกขาวจำเป็นต้องอาศัยความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับปะการังและการตอบสนองของปะการังต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสิ่งแวดล้อมซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการตรวจสอบสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังในอดีตมีความเข้าใจกันว่า *Symbiodinium* เป็นกลุ่มของสาหร่ายเพียงชนิดเดียว คือ *Symbiodinium microadriaticum* (Freudenthal 1962, Taylor 1974) เนื่องจากสาหร่ายในกลุ่มนี้มีรูปร่างลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยรวมที่เรียบง่ายและไม่ซับซ้อน แต่จากการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางอนุพันธุศาสตร์ทำให้ทราบว่าความจริงแล้ว *Symbiodinium* เป็นกลุ่มของสาหร่ายหลายชนิดและแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันไป

จากการรายงานพบว่าปะการังเจ้าบ้านมีความยืดหยุ่นต่อการอยู่อาศัยร่วมกับสาหร่าย *Symbiodinium* ได้ถึง 6 ใน 9 กลุ่มซึ่งจำแนกตามความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (clades A-I, Pochon and Gates 2010) กลุ่มหรือ clade ของ *Symbiodinium* จำแนกตามการวิเคราะห์ความผันแปรของลำดับทางพันธุกรรมของยีนในนิวเคลียสที่ทำหน้าที่ถอดรหัสในการสังเคราะห์ ribosomal RNA (Baker 2003) และยีนในคลอโรพลาสต์ที่ทำหน้าที่ถอดรหัสการสังเคราะห์ ribosomal large subunit 23S Domain V (Santos et al. 2002) ปะการังอ่อนก็เช่นเดียวกับปะการังแข็งที่มีความสัมพันธ์กับ *Symbiodinium* แบบพึ่งพาอาศัยกัน แต่พลังงานและสารอาหารที่ปะการังอ่อนได้รับจาก *Symbiodinium* เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนแล้วน้อยกว่าในปะการังแข็ง (Fabricius and Klumpp 1995) ความสัมพันธ์ระหว่างปะการังอ่อนและ *Symbiodinium* มีรายงานการศึกษาน้อยกว่าที่พบในปะการังแข็งมาก ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการศึกษาชนิดและความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อน ได้แก่ การศึกษาความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับกัลปังหาที่พบในทะเล Caribbean (เช่น ในงานวิจัยของ LaJeunesse 2002, Goulet and Coffroth 2004) การสำรวจความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อน 7 ชนิดจาก 4 วงศ์ บริเวณเกาะ Heron ทางตอนใต้ของ Great Barrier Reef (LaJeunesse et al. 2003) และล่าสุดมีการตรวจสอบความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ในปะการังอ่อน 114 ชนิด จาก 69 สกุล (20 วงศ์) ซึ่งรวบรวมมาจากบริเวณ Great Barrier Reef มหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันออก และทะเล Caribbean (van Oppen et al. 2005) ในประเทศไทย ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* มีอยู่จำกัด เช่น บริเวณทะเลอันดามันมีรายงานการศึกษาโดย LaJeunesse et al. (2010) ที่สำรวจความหลากหลายของชนิดของสาหร่าย *Symbiodinium* ซึ่งอาศัยอยู่ร่วมกับปะการังเจ้าบ้านหลายชนิดในบริเวณแนวปะการังชายฝั่ง (แหลมพันวาและเกาะเฮ) และแนวปะการังไกลฝั่ง (เกาะพีพีตอน เกาะพีพีเล เกาะราชา และหมู่เกาะสิมิลัน) ของทะเลอันดามัน ผลการศึกษาพบว่า *Symbiodinium* clade D เป็นชนิดที่พบมากและพบได้ทั่วไป ในบริเวณแนวปะการังชายฝั่ง ซึ่งมีอุณหภูมิน้ำทะเลสูงกว่าและมีตะกอนสารแขวนลอยมากกว่าบริเวณแนวปะการังไกลฝั่ง ส่วนบริเวณอ่าวไทย มีการศึกษาชนิดและความหลากหลายของสาหร่าย *Symbiodinium* ในปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ที่พบบริเวณแนวปะการังชายฝั่งของเกาะจรู๋ และแนวปะการังไกลฝั่งของหมู่เกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานการศึกษาจากบริเวณทะเลอันดามัน โดยพบสาหร่าย *Symbiodinium* clade D เป็นชนิดเด่นในแนวปะการังชายฝั่ง (Panithanarak 2012)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาตัวอย่าง

ตัวอย่างสาหร่าย *Symbiodinium* ในการศึกษานี้เป็นสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อนในสกุล *Sinularia* จากบริเวณเกาะจระเข้และหมู่เกาะจวง (ภาพที่ 1) แบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ ตามช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่าง

กลุ่มแรกเป็นตัวอย่างที่เอนเอจากการสกัดดีเอ็นเอของปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* จำนวน 45 ตัวอย่าง จากการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551-มกราคม พ.ศ. 2553 ก่อนการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2553

กลุ่มที่สองเป็นตัวอย่างเนื้อเยื่อของปะการังอ่อน *Sinularia* ที่ได้จากการตัดชิ้นส่วนของกิ่ง (lobe) ของแต่ละโคโลนีประมาณ 2-3 ชิ้น ขนาดประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร และเก็บรักษาใน absolute ethanol จำนวน 24 ตัวอย่าง จากการเก็บตัวอย่างในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ภายหลังจากเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเป็นเวลา 7 เดือน และอุณหภูมิน้ำทะเลกลับมาสู่สภาวะปกติ



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งของเกาะจระเข้ และหมู่เกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นบริเวณที่เก็บตัวอย่างปะการังอ่อนเจ้าบ้านในสกุล *Sinularia* ดัดแปลงมาจากแผนที่โดย ทรธรศิน ปณิธานะรักษ์ และคณะ (2555)

ตัวอย่างทั้งหมดเป็นตัวอย่างจากโครงการวิจัยเรื่อง "ความผันแปรของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะทางพันธุกรรมของปะการังอ่อน, *Sinularia* May, 1898 (Octocorallia: Alcyonacea) ที่พบบริเวณหาดนางรอง เกาะจระเข้และกลุ่มเกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี"

โดย ทรศิน ปณิธานะรักษ์และคณะ จำนวนตัวอย่างในแต่ละบริเวณและช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ในแต่ละบริเวณและช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง

| ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง | จำนวนตัวอย่าง | |
|----------------------------|---------------|------------|
| | เกาะกระแช่ | หมู่เกาะจง |
| ก่อนเกิดปะการังฟอกขาว 2553 | 16 | 29 |
| หลังเกิดปะการังฟอกขาว 2553 | 11 | 13 |

2. การสกัด เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ และการหาลำดับทางพันธุกรรม

สกัดดีเอ็นเอจากเนื้อเยื่อของปะการังอ่อนซึ่งมีสาหร่าย *Symbiodinium* อาศัยอยู่ โดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอจากเนื้อเยื่อสัตว์ QIAamp DNA Minikit (Qiagen, Hilden, Germany) และปฏิบัติตามขั้นตอนที่แนบไว้ในชุดสกัดดีเอ็นเอ

เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของสาหร่าย *Symbiodinium* บริเวณคลอโรพลาสต์ยีนที่ตำแหน่ง ribosomal large subunit 23S Domain V (cp23S rDNA) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความผันแปรทางพันธุกรรมเหมาะสมต่อการจำแนกสาหร่าย *Symbiodinium* ในระดับ clade (Santos et al. 2002) โดยใช้เครื่องหมายพันธุกรรม cp23s1 (forward primer): 5'-GCTGTA ACTATAACGGTCC-3' และ cp23s2 (reverse primer): 5'-CCATCGTATTGAACCCAGC-3' (Oliver and Palumbi 2011) ปฏิบัติ Polymerase Chain Reaction (PCR) ดัดแปลงมาจากวิธีการใน Zhang et al. (2000) โดยในแต่ละปฏิกิริยาซึ่งมีปริมาตร 50 µl ประกอบด้วย 0.2 mM dNTP (Promega), 1xPCR Buffer, 50 nmol primer (Macrogen Inc., Korea), 2.0 mM MgCl₂, 1.5 unit platinum Taq DNA polymerase (Invitrogen) และ 0.1-1 ng/µl template DNA

ขั้นตอนในปฏิกิริยา PCR ดัดแปลงมาจากขั้นตอนใน Zhang et al. (2000) โดยเริ่มจากการแยกสายดีเอ็นเอในช่วงเริ่มต้น (initial denaturation) ที่อุณหภูมิ 94 °C เป็นเวลา 2 นาที ตามด้วย 35 รอบของการแยกสายดีเอ็นเอ (denaturation) ที่ 94 °C เป็นเวลา 30 วินาที การจับคู่ระหว่างเครื่องหมายพันธุกรรมกับดีเอ็นเอสายเดี่ยว (annealing) ที่ 55 °C เป็นเวลา 30 วินาที และการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ (extension) ที่ 72 °C เป็นเวลา 2 นาที ปิดท้ายขั้นตอนด้วยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ (final extension) ที่ 72 °C เป็นเวลา 10 นาที

ทำผลผลิตจากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ (ผลผลิต PCR) ให้บริสุทธิ์โดยใช้ชุดทำผลผลิต PCR ให้บริสุทธิ์ QIAquick PCR purification kit (Qiagen) โดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่แนบไว้ในชุดทำผลผลิต PCR ให้บริสุทธิ์ จากนั้นนำผลผลิต PCR ที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาลำดับทางพันธุกรรมด้วยเครื่อง automated DNA sequencer รุ่น ABI 3730 XL ที่หน่วยวิเคราะห์หาลำดับทางพันธุกรรม บริษัท Macrogen Inc. ประเทศเกาหลี

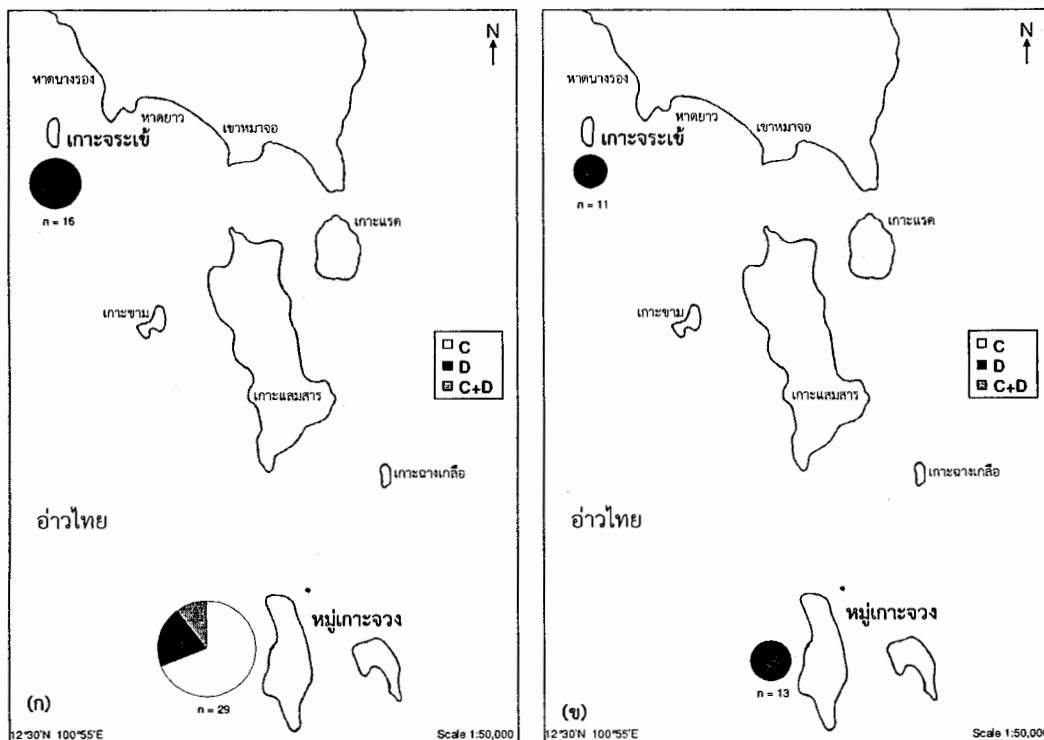
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

จำแนก clade ของตัวอย่างสาหร่าย *Symbiodinium* โดย 2 วิธีการ วิธีการแรก จำแนกจากการเปรียบเทียบขนาดของดีเอ็นเอตัวอย่างกับดีเอ็นเอมาตรฐาน (100bp DNA ladder, Promega) บน 1.5% agarose gel โดยดีเอ็นเอที่ตำแหน่ง cp23S rDNA ใน *Symbiodinium* ต่าง clade กัน เช่น clade A, C และ D จะแสดงความผันแปรของขนาดของดีเอ็นเอ (Oliver and Palumbi 2011) วิธีการที่สอง จำแนกจากลำดับทางพันธุกรรมของตัวอย่าง โดยเริ่มจากการตรวจสอบลำดับทางพันธุกรรมของตัวอย่างเพื่อยืนยันความถูกต้องของการอ่านค่า นำผลการอ่านค่าลำดับทางพันธุกรรมของแต่ละตัวอย่างจาก forward และ reverse primer มาเปรียบเทียบและรวมกันเป็นเส้นเดียว (sequence assembly) โดยใช้โปรแกรม CAP3 (Huang and Madan 1999, <http://pbil.univ-lyon1.fr/cap3.php>) จากนั้นจึงเปรียบเทียบลำดับทางพันธุกรรมของตัวอย่างทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม Clustal X (Thompson et al. 1997) และจำแนก clade ของตัวอย่างโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลลำดับทางพันธุกรรมบริเวณ cp23S rDNA ของสาหร่าย *Symbiodinium* ในฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLASTN (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov>)

เปรียบเทียบ clade และความหลากหลายในระดับ clade ของสาหร่าย *Symbiodinium* ก่อนและหลังการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว โดยการเปรียบเทียบข้อมูลความถี่ของ haplotype ด้วยวิธี an exact test of sample differentiation (Raymond and Rousset 1995) และวิเคราะห์ระดับความแตกต่างทางพันธุกรรมของสาหร่ายบริเวณชายฝั่งและไกลฝั่ง จากการคำนวณค่า F_{ST} (molecular distance: pairwise difference) โดยการใช้โปรแกรม Arlequin 3.5 (Excoffier et al. 2005)

ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบและเปรียบเทียบขนาดของดีเอ็นเอบริเวณ cp23S rDNA ในตัวอย่างสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อนในสกุล *Sinularia* จำนวน 45 ตัวอย่าง ก่อนการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 พบว่าตัวอย่างปะการังอ่อนมีสาหร่าย *Symbiodinium* อาศัยอยู่ร่วมด้วย จำแนกได้ 2 clade ตามขนาดดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน คือ clade C (~500 bp) และ D (~600 bp) ปะการังอ่อนส่วนใหญ่มีสาหร่ายอาศัยอยู่ร่วมด้วย 1 clade/1 ตัวอย่าง (93.33% ของตัวอย่างทั้งหมด) มีส่วนน้อย (3 ตัวอย่าง คิดเป็น 6.67% ของตัวอย่างทั้งหมด) ที่พบสาหร่าย *Symbiodinium* ทั้ง 2 clade อยู่ร่วมกันในตัวอย่างเดียว สาหร่าย *Symbiodinium* clade D พบเฉพาะในบริเวณเกาะจระเข้ (n = 16, C = 0, D = 16) ส่วน clade C พบเป็นชนิดเด่นในบริเวณแนวปะการังไหล่ผึ่งของหมู่เกาะจวง (n = 29, C = 20, D = 6, C+D = 3, ภาพที่ 2) สำหรับตัวอย่างปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ที่สำรวจจากเกาะจระเข้และหมู่เกาะจวงหลังจากการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเป็นระยะเวลา 7 เดือน พบว่ามีสาหร่ายเพียงชนิดเดียว คือ *Symbiodinium* clade D อาศัยอยู่ด้วย (ภาพที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบชนิดและความถี่ของ *Symbiodinium* clade ก่อนและหลังการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว พบว่าองค์ประกอบของ *Symbiodinium* clade ที่พบบริเวณหมู่เกาะจวงแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ความถี่ของ *Symbiodinium* clade (C D และ C+D) ในโคโลนีของปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ที่พบบริเวณเกาะจระเข้และหมู่เกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดยเปรียบเทียบระหว่างช่วงก่อนการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 (ก) และหลังการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเป็นระยะเวลา 7 เดือน (ข) ขนาดของกราฟวงกลมแปรผันตามขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ความผันแปรของลำดับทางพันธุกรรมบางส่วนบริเวณ cp23S rDNA จากตัวอย่างสาหร่าย *Symbiodinium* จำนวน 66 ตัวอย่าง (ยกเว้นตัวอย่างที่มีสาหร่ายอยู่ร่วมกัน 2 clade ในตัวอย่างเดียว เนื่องจากการหาลำดับทางพันธุกรรมในกรณีนี้ จำเป็นต้องมีการแยกแถบ ดีเอ็นเอของแต่ละ clade และ/หรือ cloning ก่อน เพื่อให้ดีเอ็นเอของแต่ละ clade บริสุทธิ์) สามารถจำแนกสาหร่าย *Symbiodinium* ได้ออกเป็น clade C และ D จากการเปรียบเทียบกับข้อมูลลำดับทางพันธุกรรมบริเวณ cp23S rDNA ของสาหร่าย *Symbiodinium* ในฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLASTN ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบ clade โดยการเปรียบเทียบขนาดของดีเอ็นเอ จากการเปรียบเทียบลำดับทางพันธุกรรมของตัวอย่างสาหร่าย 66 ตัวอย่าง (ก่อนฟอกขาว n = 42, หลังฟอกขาว n = 24) ซึ่งมีขนาด 661 bp สามารถจำแนกลำดับทางพันธุกรรมได้ 4 รูปแบบ หรือ haplotype ได้แก่ haplotype ของ *Symbiodinium* clade D แทนด้วย D1 D2 และ D3 และ haplotype ของ clade C แทนด้วย C1 haplotype ของ clade C และ D แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีตำแหน่งที่นิวคลีโอไทด์แตกต่างกันถึง 168 ตำแหน่ง ความแตกต่างส่วนใหญ่เกิดจากการแทนที่ของนิวคลีโอไทด์แบบ insertion หรือ deletion แต่ความแตกต่างของ haplotype ภายใน clade เดียวกันมีค่าน้อยมาก ต่างกันเพียง 1 ตำแหน่ง ซึ่งเกิดจากการแทนที่ของนิวคลีโอไทด์แบบ insertion หรือ deletion (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 2 ความถี่ (relative frequencies) ของ haplotype ในสหร่าย *Symbiodinium* จากการศึกษาในช่วงก่อนปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 (ก่อนฟอกขาว) และหลังจากเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว เป็นระยะเวลา 7 เดือน (หลังฟอกขาว) haplotype ของ clade D แทนด้วย D1 D2 และ D3 และ haplotype ของ clade C แทนด้วย C1

| Haplotypes | ก่อนฟอกขาว (n = 42) | หลังฟอกขาว (n = 24) |
|------------|------------------------|------------------------|
| D1 | 0.500 | 0.833 |
| D2 | 0.024 | 0.083 |
| D3 | 0.024 | 0.083 |
| C1 | 0.452 | 0 |

วิเคราะห์ผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้รายงานผลการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนขององค์ประกอบของ clade ในสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อนเจ้าบ้านสกุล *Sinularia* ซึ่งพบบริเวณหมู่เกาะจวง ภายหลังจากการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 ก่อนการฟอกขาว ตัวอย่างปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* จากการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม มีสาหร่าย *Symbiodinium* clade C อาศัยอยู่ร่วมด้วยคิดเป็น 68.97% ของตัวอย่างทั้งหมด ส่วนตัวอย่างที่เหลือพบอาศัยอยู่ร่วมกับสาหร่าย *Symbiodinium* clade D และบางตัวอย่างพบสาหร่ายทั้งสอง clade (ภาพที่ 2) แต่หลังจากการฟอกขาวเป็นเวลา 7 เดือน ตัวอย่างปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ที่รอดชีวิต อาศัยอยู่ร่วมกับสาหร่าย *Symbiodinium* clade D เพียงชนิดเดียว การสูญเสียสาหร่าย *Symbiodinium* clade C หรือการเพิ่มจำนวนของสาหร่าย clade D หลังจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว อาจอธิบายได้จากอัตราการตายที่แตกต่างกัน (differential mortality) ของปะการังเจ้าบ้านที่อาศัยร่วมกับสาหร่ายซึ่งมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น สาหร่าย *Symbiodinium* clade C เปรียบเทียบกับสาหร่ายที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมากกว่า หรือการเปลี่ยนแปลงของ *Symbiodinium* ซึ่งอาศัยอยู่ภายในโคโลนีของปะการังเจ้าบ้าน (กลไกนี้เรียกว่า *Symbiodinium* shuffling หรือ switching) *Symbiodinium* shuffling คือการเปลี่ยนแปลงความชุกชุมของสาหร่าย *Symbiodinium* แต่ละ clade หรือ subclade เนื่องจากผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้สนับสนุนสมมติฐานว่าด้วยการปรับตัวของสาหร่าย *Symbiodinium* อันเป็นผลมาจากการฟอกขาว (the Adaptive Bleaching Hypothesis, ABH) เสนอโดย Buddemeier and Fautin (1993) และ Buddemeier et al. (2004) โดยสมมติฐานนี้ กล่าวไว้ว่า ปะการังเจ้าบ้านสามารถเปลี่ยนหรือปรับเปลี่ยนสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ภายในโคโลนี จาก clade หรือ subclade ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมไปเป็น clade ที่มีความทนทานมากกว่าระหว่างการฟอกขาว แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้มักจะต้องมีสิ่งที่มาขัดแย้งกัน เช่น การลดลงของอัตราการเจริญเติบโต (Jones and Berkelmans 2010) และการสูญเสียประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง (Rowan 2004) มีรายงานการศึกษามากมายที่แสดงถึงการเพิ่มความชุกชุมของสาหร่าย *Symbiodinium* clade D ในปะการังเจ้าบ้าน ภายหลังจากการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว (Baker et al. 2004, Rowan 2004, Berkelmans and van Oppen 2006, LaJeunesse et al. 2007, Jones et al. 2008) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสาหร่าย *Symbiodinium* ในโคโลนีซึ่งได้ตีพิมพ์เลขเอาไว้ของปะการังเขากวาง *Acropora millepora* โดยสำรวจก่อนและหลังการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2549 บริเวณเกาะ Keppel ทางตอนใต้ของ Great Barrier Reef การศึกษานี้ เห็นพ้องกับคำอธิบายว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสาหร่าย *Symbiodinium* อันเนื่องมาจาก *Symbiodinium* shuffling และ differential mortality (Jones et al. 2008) ตรงกันข้ามกับการสำรวจโคโลนีที่ตีพิมพ์เลขของปะการังเกล็ดคว่ำ *Stylophora pistillata* บริเวณเกาะ Heron ทางตอนใต้ของ Great Barrier Reef ซึ่งการศึกษานี้สนับสนุนคำอธิบายว่าด้วยการเกิด differential mortality ในปะการังเจ้าบ้านซึ่งมีสาหร่าย *Symbiodinium* ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มากกว่าคำอธิบายว่าด้วยกลไกการเกิด *Symbiodinium* shuffling ภายในโคโลนีของปะการังเจ้าบ้านเอง (Sampayo et al. 2008) สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชาคมสาหร่าย *Symbiodinium* ในปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ครั้งนี้

ไม่ได้มีการตีความเลขของโคลนนี้ที่ทำการสำรวจ การศึกษาทั้งก่อนและหลังปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 จึงเป็นการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสาหร่ายเกิดขึ้นเพราะการเกิด differential mortality หรือ *Symbiodinium* shuffling อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่าการจำแนกสาหร่าย *Symbiodinium* ในระดับ clade เป็นเทคนิคที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ให้ผลการศึกษาที่มีความน่าเชื่อถือ เหมาะสมกับการสำรวจภาคสนามถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในประชาคมสาหร่าย *Symbiodinium* แบบชั่วคราว

การเปลี่ยนแปลงของประชาคมสาหร่าย *Symbiodinium* เช่นเดียวกับที่สำรวจพบบริเวณหมู่เกาะจวง หลังการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 ไม่เกิดขึ้นในบริเวณเกาะจระเข้ เนื่องจากโดยปกติแล้ว บริเวณแนวปะการังชายฝั่ง เช่น เกาะจระเข้ ปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* จะมีสาหร่าย *Symbiodinium* clade D ที่สามารถทนทานต่ออุณหภูมิสูงเพียงชนิดเดียวอาศัยอยู่ด้วย (Panithanarak 2012) เกาะจระเข้ ตั้งอยู่ไม่ไกลจากหาดนางรองมากนัก (ภาพที่ 1) ส่วนหมู่เกาะจวงอยู่ห่างจากชายฝั่งไปประมาณ 48 กิโลเมตร ด้วยเหตุนี้ บริเวณเกาะจระเข้จึงได้รับอิทธิพลจากความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อม เช่น ความขุ่น-ใสของน้ำทะเล และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อความชุกชุมและความสำเร็จในเชิงวิวัฒนาการของสาหร่าย *Symbiodinium* clade D มีการศึกษามากมายที่ชี้ให้เห็นว่า สาหร่าย *Symbiodinium* clade D มักจะพบอาศัยอยู่ร่วมกับปะการังเจ้าบ้านที่มีถิ่นอาศัยบริเวณชายฝั่ง ซึ่งได้รับผลกระทบเป็นอย่างมากจากความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อม (van Oppen et al. 2005, Mostafavi et al. 2007, LaJeunesse et al. 2010)

สรุปผลการวิจัย

การตรวจสอบชนิดและความหลากหลายทางพันธุกรรมของสาหร่าย *Symbiodinium* ที่อาศัยอยู่ร่วมกับปะการังอ่อนในสกุล *Sinularia* โดยการวิเคราะห์ความผันแปรของลำดับทางพันธุกรรมบางส่วนบริเวณยีน cp23S rDNA ในคลอโรพลาสต์ พบสาหร่าย *Symbiodinium* 2 clade ได้แก่ clade C และ D ในการสำรวจบริเวณเกาะกระเข้และหมู่เกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ก่อนการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในปี พ.ศ. 2553 โดยภาพรวม สัดส่วนของการตรวจพบสาหร่าย clade C และ D มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเป็นเวลา 7 เดือน กลับพบเฉพาะสาหร่าย *Symbiodinium* clade D ซึ่งเป็นสาหร่ายที่มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและการฟอกขาวเพียงชนิดเดียวเท่านั้น การสูญเสียสาหร่าย *Symbiodinium* clade C หรือการเพิ่มความชุกชุมของสาหร่าย *Symbiodinium* clade D ในปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* ภายหลังจากการฟอกขาว อาจอธิบายได้จากการเกิด differential mortality ของสาหร่ายในกลุ่มที่มีความไวต่อความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อม หรือ *Symbiodinium* shuffling ภายในโคลโลนีของปะการังเจ้าบ้าน

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่ง. (2553). รายงานเบื้องต้นผลกระทบจากการเกิดปะการังฟอกขาวปี 2553. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน, 8 หน้า
- คณะกรรมการแก้ไขปัญหาผลกระทบของการฟอกขาวต่อสถานภาพปะการัง. (2553). สถานการณ์ปะการังฟอกขาวและแนวทางการแก้ไขปัญหา (ร่าง position paper). สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน.
- ทรนสิน ปณิธานะรักษ์, สราวุธ ศิริวงศ์, สุเมตต์ ปุจฉาการ และสหรัฐ ชีระคัมพร. (2554). รายงานฉบับสมบูรณ์: ความผันแปรของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะทางพันธุกรรมของปะการังอ่อน, *Sinularia May, 1898 (Octocorallia: Alcyonacea)* ที่พบบริเวณหาดนางรอง เกาะจรเข้มและกลุ่มเกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. มหาวิทยาลัยบูรพา, 86 หน้า
- ทรนสิน ปณิธานะรักษ์, สราวุธ ศิริวงศ์, สุเมตต์ ปุจฉาการ และสหรัฐ ชีระคัมพร. (2555). ความผันแปรทางพันธุกรรมของปะการังอ่อนสกุล *Sinularia* (Octocorallia: Alcyonacea) ที่พบบริเวณเกาะจรเข้มและกลุ่มเกาะจวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. *ประมวลผลงานวิจัยการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2553, วันที่ 28-30 มิถุนายน 2553 ณ โรงแรมรอยัลภูเก็ตซิตี้ จังหวัดภูเก็ต*, หน้า 251-260.
- Baker, A. C. (2003). Flexibility and specificity of coral-algal symbiosis: diversity, ecology, and biogeography of *Symbiodinium*. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 34, 661-689.
- Baker, A. C., Starger, C. J., McClanahan, T. R. and Glynn, P. W. (2004). Corals adaptive response to climate change. *Nature* 430, 741.
- Berkelmans, R. and van Oppen, M. J. H. (2006). The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals: a 'nugget of hope' for coral reefs in an era of climate change. *Proceedings of the Royal Society* 273, 2305-2312.
- Buddemeier, R. W., Baker, A. C., Fautin, D. G. and Jacobs, J. R. (2004). The adaptive hypothesis of bleaching. In: *Coral health and disease* (eds Rosenberg, E. and Loya, Y.). Springer ch. 24, Berlin, Germany, pp. 427-444.
- Buddemeier, R. W. and Fautin, D. G. (1993). Coral bleaching as an adaptive mechanism: a testable hypothesis. *Bioscience* 43, 320.
- Excoffier, L., Laval, G. and Schneider, S. (2005). Arlequin ver. 3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online* 1, 47-50.
- Fabricius, K. E. and Klumpp, D. W. (1995). Widespread mixotrophy in reef-inhabiting soft corals: the influence of depth, and colony expansion and contraction on photosynthesis. *Marine Ecology Progress Series* 125, 195-204.

577. 789

๖๖๖๖๖

๖. ๕

354943

- Freudenthal, H. D. (1962). *Symbiodinium* gen. nov. and *Symbiodinium microadriaticum* sp. nov., a zooxanthellae: taxonomy, life cycle, and morphology. *Journal of Protozoology* 9, 45-52.
- Goulet, T. L. and Coffroth, M. A. (2004). The genetic identity of dinoflagellate symbionts in Caribbean octocorals. *Coral Reefs* 23, 465-472.
- Huang, X. and Madan, A. (1999). CAP3: A DNA sequence assembly program. *Genome Research* 9, 868-877.
- Jones, A. M. and Berkelmans, R. (2010). Potential costs of acclimatization to a warmer climate: Growth of a reef coral with heat tolerant vs. sensitive symbiont types. *PLoS ONE* 5(5), e10437. doi:10.1371/journal.pone.0010437.
- Jones, A. M., Berkelmans, R., van Oppen, M. J. H., Mieog, J. C. and Sinclair, W. (2008). A community change in the algal endosymbionts of a scleractinian coral following a natural bleaching event: field evidence of acclimatization. *Proceedings of the Royal Society B* 275(1641), 1359-1365.
- LaJeunesse, T. C. (2002). Diversity and community structure of symbiotic dinoflagellates from Caribbean coral reefs. *Marine Biology* 141, 387-400.
- LaJeunesse, T. C., Loh, W. K. W., van Woesik, R., Hoegh-Guldberg, O., Schmidt, G. W. and Fitt, W. K. (2003). Low symbiont diversity in southern Great Barrier Reef corals, relative to those of the Caribbean. *Limnology and Oceanography* 48, 2046-2054.
- LaJeunesse, T. C., Pettay, D. T., Sampayo, E. M., Phongsuwan, N., Brown, B., Obura, D. O., Hoegh-Guldberg, O. and Fitt, W. K. (2010). Long-standing environmental conditions, geographic isolation and host-symbiont specificity influence the relative ecological dominance and genetic diversification of coral endosymbionts in the genus *Symbiodinium*. *Journal of Biogeography* 37, 785-800.
- LaJeunesse, T. C., Reyes-Bonilla, H. and Warner, M. E. (2007). Spring bleaching among "*Pocillopora*" in the Sea of Cortez. *Eastern Pacific Coral Reefs* 26, 265-270.
- May, W. (1898). Die von Dr. Stuhlmann im Jahre 1889 gesammelten ostafrikanischen Alcyonaceen des Hamburger Museums. *Mitt. naturh. Mus. Hamburg*, 15(2), 1-38.
- Mostafavi, P. G., Fatemi, S. M. R., Shahhosseiny, M. H., Hoegh-Guldberg, O. and Loh, W. K. W. (2007). Predominance of clade D *Symbiodinium* in shallow-water reef-building corals off Kish and Larak Islands (Persian Gulf, Iran). *Marine Biology* 153, 25-34.
- Oliver, T. A. and Palumbi, S. R. (2011). Many corals host thermally resistant symbionts in high-temperature habitat. *Coral Reefs* 30, 241-250.
- Panithanarak, T. (2012). Habitat partitioning of genetically distinct zooxanthellae inhabiting soft corals in the genus *Sinularia*. *Proceedings of the Burapha*

- University International Conference 2012, Pattaya, Thailand, 9-11 July 2012*, pp. 512-523.
- Pochon, W. and Gates, R. D. (2010). A new *Symbiodinium* clade (Dinophyceae) from soritid foraminifera in Hawaii. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 56(1), 492-497.
- Raymond, M. and Rousset, F. (1995). An exact test for population differentiation. *Evolution* 49, 1280-1283.
- Rowan, R. (2004). Coral bleaching: thermal adaptation in reef coral symbionts. *Nature* 430, 742.
- Sampayo, E. M., Ridgway, T., Bongaerts, P. and Hoegh-Guldberg, O. (2008). Bleaching susceptibility and mortality of corals are determined by fine-scale differences in symbiont type. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 105, 10444-10449.
- Santos, S. R., Taylor, D. J., Kinzie, R. A. III, Hidaka, M., Sakai, K. and Coffroth, M. A. (2002). Molecular phylogeny of symbiotic dinoflagellates inferred from partial chloroplast large subunit (23S)-rDNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 23, 97-111.
- Taylor, D. L. (1974). Symbiotic marine algae: taxonomy and biological fitness. In: *Symbiosis in the Sea* (ed. Vernberg, W. B.). Columbia University Press, New York, pp. 245-262.
- Thompson, J. D., Gibson, T. J., Plewniak, F., Jeanmougin, F. and Higgins, D. G. (1997). The Clustal X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Research* 24, 4876-4882.
- van Oppen, M. J. H., Mieog, J. C., Sánchez, A. and Fabricius, K. E. (2005). Diversity of algal endosymbionts (zooxanthellae) in octocorals: the roles of geography and host relationships. *Molecular Ecology* 14, 2403-2417.
- Zhang, Z., Green, B. R. and Cavalier-Smith, T. (2000). Phylogeny of ultra-rapidly evolving dinoflagellate chloroplast genes: a possible common origin for sporozoan and dinoflagellate plastids. *Journal of Molecular Evolution* 51, 26-40.