

ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังและ  
ดอกไม้ทะเล



นางสาวกมลพร พัฒนศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

ปีการศึกษา 2556

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลที่ส่งตรงมายังบัณฑิตวิทยาลัย  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

EFFECTS OF TEMPERATURE AND SALINITY ON GROWTH OF ZOOXANTHELLAE  
ISOLATED FROM CORALS AND SEA ANEMONE

Miss Kamonporn Patthanasiri

The logo of Chulalongkorn University, featuring a central emblem with a sunburst and a tiered structure, set against a light background.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังและดอกไม้ทะเล
โดย	นางสาวกมลพร พัฒนศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศานิต ปิยพัฒน์นกร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิภูษิต มั่นทะจิตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมศักดิ์ ยี่มิน)

กมลพร พัฒนศิริ : ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังและดอกไม้ทะเล. (EFFECTS OF TEMPERATURE AND SALINITY ON GROWTH OF ZOOXANTHELLAE ISOLATED FROM CORALS AND SEA ANEMONE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร. เจริญ นิติธรรมยง, , หน้า.

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและความเค็มที่ลดลงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟอกขาวในปะการังและสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด เพื่อให้ทราบบทบาทความสำคัญของปัจจัยทั้งสองจึงทำการศึกษาความทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มใน zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัย 3 ชนิด ได้แก่ ปะการังดอกกะหล่ำ (*Pocillopora damicornis*) ปะการังดอกเห็ด (*Fungia fungites*) และดอกไม้ทะเล (*Epiactis* sp.) โดยทำการแยกเลี้ยงเซลล์ zooxanthellae แบบปลอดเชื้อและทำการทดลองที่ 3 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ 27 (ควบคุม), 30 และ 33 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละระดับอุณหภูมิประกอบด้วย 4 ระดับความเค็ม ได้แก่ 15, 25, 28 (ควบคุม) และ 33 psu สุ่มนับเซลล์ทุก 2 วัน เป็นเวลา 14 วัน ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ในแต่ละระดับอุณหภูมิและความเค็มมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดของผู้ให้อาศัยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยที่ระดับอุณหภูมิ 27 และ 30 องศาเซลเซียส zooxanthellae ซึ่งแยกจากผู้ให้อาศัยทั้ง 3 ชนิด มีอัตราการเติบโตปกติ แต่มีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะต่ำที่ระดับความเค็มต่ำ ในขณะที่ระดับอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส zooxanthellae ซึ่งแยกจากผู้ให้อาศัยแต่ละชนิดไม่สามารถเติบโตได้ โดยเซลล์ส่วนใหญ่ตายในวันที่ 8 ของการทดลอง ยกเว้น zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ที่ระดับความเค็มสูง เซลล์ส่วนใหญ่ตายในวันที่ 14 ซึ่งเป็นเวลาสิ้นสุดการทดลอง โดยเซลล์มีสีซีดจางและแสดงลักษณะของการสูญเสีย cytoplasmic organelles อย่างชัดเจน ซึ่งให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงและความเค็มต่ำส่งผลต่อการเติบโตและลักษณะเซลล์ของ zooxanthellae และ zooxanthellae ที่ทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มมากที่สุด คือ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

# # 5471907723 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS: TEMPERATURE / SALINITY / ZOOXANTHELLAE / POCILLOPORA  
DAMICORNIS / FUNGIA FUNGITES / EPIACTIS SP.

KAMONPORN PATTHANASIRI: EFFECTS OF TEMPERATURE AND SALINITY ON GROWTH OF ZOOXANTHELLAE ISOLATED FROM CORALS AND SEA ANEMONE. ADVISOR: ASSOC. PROF. THAITHAWORN LIRDWITAYAPRASIT, Ph.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAROEN NITITHAMYONG, Ph.D., pp.

The elevated temperature and decreased in water salinity cause bleaching in corals and other marine invertebrates. To clarify the effects of temperature and salinity on zooxanthellae, the experiments were conducted in the zooxanthellae isolated from three marine invertebrate hosts, namely; cauliflower coral (*Pocillopora damicornis*), mushroom coral (*Fungia fungites*) and sea anemone (*Epiactis* sp.). The growth response of axenic culture were observed at 3 levels of temperatures; 27 (control), 30 and 33 °C. At each temperature level, 4 levels of salinities; 15, 25, 28 (control) and 33 psu were assigned. Sampling cells were enumerated every 2 days for 14 days. At each temperature and salinity, there were interactive effects among temperature, salinity and host type. At the 27 and 30 °C zooxanthellae isolated from all host types had normal growth rate but the lowest specific growth rates of zooxanthellae were observed at low salinity levels. While at the highest temperature 33 °C at all levels of salinity, growth rate of zooxanthellae decreased and most cells died on day 8 but zooxanthellae isolated from sea anemone at high salinity levels most cells died at the end of experiments (day 14) and zooxanthellae cells are clearly pale color and less cytoplasmic organelles. These results suggest that most temperature and salinity tolerance clone is zooxanthellae isolated from sea anemone.

Department: Marine Science

Student's Signature .....

Field of Study: Marine Science

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2013

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิตธรรมยง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำด้านวิชาการและแนวทางในการทำวิจัย ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งติดต่อและประสานงานกับหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อีกทั้งให้ความกรุณาและกำลังใจในการทำงาน ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และ หน่วยบัญชาการสงครามพิเศษทางเรือ กองเรือยุทธการ สำหรับการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ทนุเรียนตีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณอิงอร ทองคำดี และคุณดุสิต ศรีวิไล ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพิสุทธิ เทศน์สวัสดิ์ คุณทิวิมล รัตนะวงวาร คุณณัฐธิดา จันทศิริ คุณกนก กานต์ หลิมเฮงฮะ คุณพรรณเทพ เขียนดวง ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ กราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว รวมถึงเพื่อนๆทุกคน ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษา ตลอดจนครู-อาจารย์ทุกท่านที่เคยสั่งสอนมาจนงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
บทที่ 2 .....	3
สำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
1. ลักษณะทางชีววิทยาของ zooxanthellae.....	3
การสืบพันธุ์.....	5
การจัดจำแนกชนิด zooxanthellae.....	6
2. ความสัมพันธ์ของ zooxanthellae กับผู้ให้อาศัย.....	7
3. ปรากฏการณ์ฟอกขาว (Bleaching).....	8
4. ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อ zooxanthellae.....	10
บทที่ 3 .....	14
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการศึกษา.....	14
1. พื้นที่ศึกษา.....	14
2. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง.....	14
3. การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม .....	15
4. การเก็บตัวอย่างปะการังและดอกไม้ทะเล .....	15
5. การแยกและเลี้ยง zooxanthellae จากผู้ให้อาศัยชนิดต่างๆ .....	15
6. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae .....	16

7. ศึกษาลักษณะของเซลล์ .....	16
8. วิเคราะห์ผลการศึกษา.....	16
บทที่ 4 .....	17
ผลการศึกษา .....	17
1. ลักษณะการเจริญเติบโต (growth characteristic) ของ zooxanthellae ในสภาวะปกติ.....	17
2. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae .....	18
2.1. ที่อุณหภูมิ 27 และ 30 องศาเซลเซียส.....	20
2.2. ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส.....	26
3. ลักษณะของเซลล์.....	29
บทที่ 5 .....	34
อภิปรายผลการศึกษา.....	34
1. ลักษณะการเจริญเติบโต (growth characteristic) ของ zooxanthellae ในสภาวะปกติ.....	34
2. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเจริญเติบโตและลักษณะเซลล์ของ zooxanthellae .....	34
บทที่ 6 .....	39
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ .....	39
1. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae .....	39
2. ลักษณะเซลล์ zooxanthellae.....	39
ข้อเสนอแนะ .....	40
รายการอ้างอิง .....	41
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป .....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1



วัตถุประสงค์.....	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
บทที่ 2 สํารวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
1. ลักษณะทางชีววิทยาของ zooxanthellae .....	3
การสืบพันธุ์ .....	5
การจัดจำแนกชนิด zooxanthellae .....	6
2. ความสัมพันธ์ของ zooxanthellae กับผู้ให้อาศัย .....	7
3. ปรากฏการณ์ฟอกขาว (Bleaching) .....	8
4. ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อ zooxanthellae .....	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการศึกษา .....	14
1. พื้นที่ศึกษา .....	14
2. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง .....	14
3. การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม .....	15
4. การเก็บตัวอย่างปะการังและดอกไม้ทะเล .....	15
5. การแยกและเลี้ยง zooxanthellae จากผู้ให้อาศัยชนิดต่างๆ .....	15
6. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae .....	16
7. ศึกษาลักษณะของเซลล์ .....	16
8. วิเคราะห์ผลการศึกษา .....	16
บทที่ 4 ผลการศึกษา .....	17
1. ลักษณะการเจริญเติบโต (growth characteristic) ของ zooxanthellae ในสภาวะปกติ .....	17
2. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae .....	18
2.1. ที่อุณหภูมิ 27 และ 30 องศาเซลเซียส .....	20
2.2. ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส .....	26
3. ลักษณะของเซลล์ .....	29
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา .....	34
1. ลักษณะการเจริญเติบโต (growth characteristic) ของ zooxanthellae ในสภาวะปกติ .....	34
2. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเจริญเติบโตและลักษณะเซลล์ของ zooxanthellae .....	34

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ .....	39
1. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae .....	39
2. ลักษณะเซลล์ zooxanthellae.....	39
ข้อเสนอแนะ .....	40
รายการอ้างอิง .....	41
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	63



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 วันที่และพิกัดของจุดเก็บตัวอย่าง .....	15
ตารางที่ 2 อัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> , ปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> และดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 27 และ 30 องศาเซลเซียส.....	19
ตารางที่ 3 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ที่เริ่มส่งผลต่อความหนาแน่นและอัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยชนิดต่างๆ .....	38
ตารางที่ 4 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ในสภาวะปกติ.....	48
ตารางที่ 5 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ในสภาวะปกติ.....	48
ตารางที่ 6 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ในสภาวะปกติ.....	49
ตารางที่ 7 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ .....	50
ตารางที่ 8 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ .....	51
ตารางที่ 9 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 33 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ .....	52
ตารางที่ 10 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ .....	53
ตารางที่ 11 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ.....	54
ตารางที่ 12 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 33 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ .....	55
ตารางที่ 13 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ.....	56
ตารางที่ 14 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ.....	57

ตารางที่ 15 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ที่อุณหภูมิตั้ง 33 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ.....	58
ตารางที่ 16 วิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตัวแปร คือ อัตราการเติบโตจำเพาะ).....	59
ตารางที่ 17 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ที่เก็บปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> วันที่ 1 กันยายน 2555 Latitude 12.5711 Longitude 100.9304.....	60
ตารางที่ 18 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ที่เก็บปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> วันที่ 1 มีนาคม 2556 Latitude 12.5749 Longitude 100.9330.....	61
ตารางที่ 19 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ที่เก็บปะการังดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. วันที่ 16 มีนาคม 2556 Latitude 12.5748 Longitude 100.9362.....	62



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 zooxanthellae ซึ่งแยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> .....	3
รูปที่ 2 เซลล์ zooxanthellae ( <i>Symbiodinium</i> sp.) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดย T คือ ไทลาคอยด์ (thylakoid), N คือ นิวเคลียส (nucleus) ซึ่งภายในมีโครโมโซม (chromosomes) อัดตัวแน่น, M คือ ไมโทคอนเดรีย (mitochondria), P คือ ไพเรินอยด์ (pyrenoid), S คือ แป้ง (starch) และ U คือ ผลึกกรดยูริก (crystal of uric acid) (Stambler 2011).....	4
รูปที่ 3 วัฏจักรเซลล์ <i>Symbiodinium</i> sp. (เพาะเลี้ยง) ระหว่างช่วงมืดและช่วงสว่าง ระยะ $G_1$ , $G_1/S$ และ $G_2/M$ (Stambler 2011) .....	5
รูปที่ 4 กายวิภาคของโพลิปะการังซึ่งมี zooxanthellae อาศัยอยู่ภายในเนื้อเยื่อ (นลินี ทองแถม และนิพนธ์ พงศ์สุวรรณ 2553).....	8
รูปที่ 5 กลไกที่ zooxanthellae หลุดออกจากเนื้อเยื่อชั้น endoderm ของสัตว์ทะเลไม่กระดูกสันหลังกลุ่ม Cnidarians (Gates 1992).....	9
รูปที่ 6 ปะการังเขากวางฟอกขาวที่เกาะแสมสาร อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี.....	10
รูปที่ 7 เกาะแสมสาร อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี.....	14
รูปที่ 8 Growth characteristic ของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> , ปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> และดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็ม 28 psu.....	17
รูปที่ 9 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส.....	20
รูปที่ 10 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	21
รูปที่ 11 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส .....	22
รูปที่ 12 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	23
รูปที่ 13 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส .....	24
รูปที่ 14 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	25

รูปที่ 15 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส.....	26
รูปที่ 16 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส .....	27
รูปที่ 17 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส .....	28
รูปที่ 18 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิควบคุม (27 องศาเซลเซียส).....	29
รูปที่ 19 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิควบคุม (27 องศาเซลเซียส).....	30
รูปที่ 20 zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิควบคุม (27 องศาเซลเซียส).....	30
รูปที่ 21 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส).....	31
รูปที่ 22 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i> ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส).....	31
รูปที่ 23 zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล <i>Epiactis</i> sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส) .....	32
รูปที่ 24 เซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสภายใต้ระดับความเค็ม 15 psu.....	32
รูปที่ 25 เซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็ม 33 psu .....	33

## บทที่ 1

### บทนำ

ปะการังและสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกับ zooxanthellae ซึ่งเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวในสกุล *Symbiodinium* มีสีน้ำตาลอมเหลืองอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของผู้ให้อาศัย (host) ทำหน้าที่ในการนำคาร์บอนไดออกไซด์และธาตุอาหารจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของผู้ให้อาศัยมาใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ผลผลิตเป็นออกซิเจนและสารอาหาร ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกส่งกลับคืนให้ผู้ให้อาศัย โดยเฉพาะปะการังที่พบว่าได้รับสารอาหารและพลังงานจาก zooxanthellae มากกว่าร้อยละ 90 ของสารอาหารและพลังงานที่ปะการังต้องการ (Muscatine 1977); (Trench 1979)

zooxanthellae ไม่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ น้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น และความเค็มที่ลดลง โดยอุณหภูมิ น้ำทะเลที่สูงขึ้นกว่าปกติเพียง 1-2 องศาเซลเซียส ก็อาจส่งผลกระทบต่อทั้งผู้ให้อาศัย และ zooxanthellae ได้ (Jones 1998) ความเค็มก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อ zooxanthellae เช่นเดียวกัน โดยความเค็มที่ลดลงนั้นจะทำให้ความทนทานของ zooxanthellae ลดลง (Sakami 2000) ดังนั้นเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมจนไม่เหมาะสม จะส่งผลให้ความหนาแน่นเซลล์และ/หรือปริมาณของรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ลดต่ำลง รวมถึงการเผาผลาญออกซิเจนไม่ปกติ และอัตราการหลุดออกจากผู้ให้อาศัยจะเพิ่มขึ้นมากด้วย ทำให้ผู้ให้อาศัยมีสีจางและอ่อนแอเพราะไม่ได้รับสารอาหารที่เพียงพอ และอาจตายหากไม่สามารถทนต่อสภาวะนี้ได้ (Podesta 1997); (Rodolfo-Metalpa 2006) เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ฟอกขาว

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความทนทานของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ (*Pocillopora damicornis*) ปะการังดอกเห็ด (*Fungia fungites*) และดอกไม้ทะเล (*Epiactis* sp.) ซึ่งเก็บจากบริเวณเกาะแสมสาร อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี เพื่อให้ทราบถึงขีดจำกัดความทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มของ zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยชนิดต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการฟื้นตัวหรือลดผลกระทบของปะการังจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในอนาคตได้

### วัตถุประสงค์

เพื่อคัดเลือก zooxanthellae ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเค็ม

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ zooxanthellae ที่สามารถทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มในช่วงกว้าง เพื่อใช้ในการฟื้นตัวหรือลดผลกระทบของปะการังจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในอนาคตได้





## บทที่ 2

### สำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zooxanthellae เป็นแพลงก์ตอนพืช จัดอยู่ในอนุกรมวิธานลำดับต่อไปนี้

Division Dinoflagellata

Class Dinophyceae

Order Suessiales

Family Symbiodiniaceae

Genus *Symbiodinium*



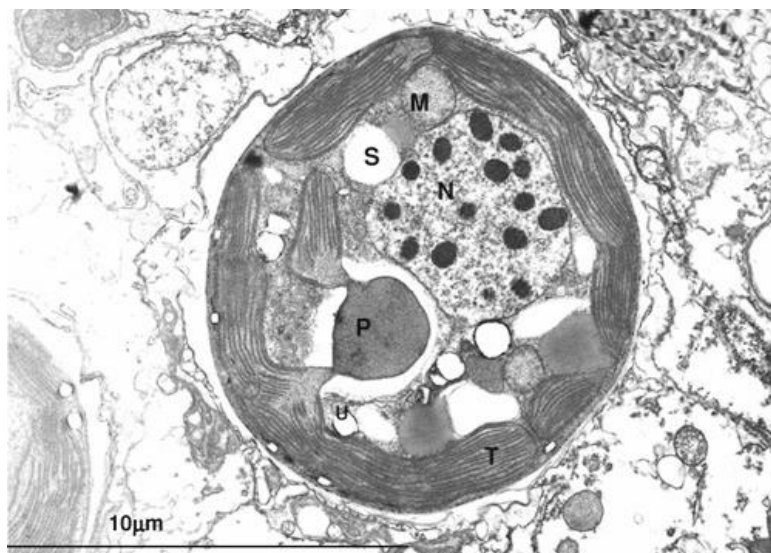
รูปที่ 1 zooxanthellae ซึ่งแยกจากปะการังดอกกะหล่ำ

*Pocillopora damicornis*

#### 1. ลักษณะทางชีววิทยาของ zooxanthellae

เซลล์แพลงก์ตอนพืชในสกุล *Symbiodinium* มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6-15 ไมโครเมตร (รูปที่ 1) โดยขึ้นกับจีโนไทป์ (genotype) และชนิดของผู้ให้อาศัย (host) ลักษณะภายนอกของ *Symbiodinium* มีลักษณะกลม ล้อมรอบด้วยผนังเซลล์แบบ continuous cellulosic โดยติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ ภายในเซลล์มีหนึ่งคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งมีไทลาคอยด์ (thylakoids) โดย chloroplast thylakoid นี้จะเรียงซ้อนเป็นชั้นและมักจะเรียงตัวอยู่ใกล้ส่วนนอกสุดของเซลล์ มี pyrenoid body ซึ่งจะอยู่ติดกับคลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่เก็บผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง เช่น แป้ง เป็นต้น (Freudenthal 1962) ภายในเซลล์มีฟลิกยูริก โดยใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน (รูปที่ 2) ทำ

ให้สาหร่าย (algae symbiont) เติบโตได้แม้ในสภาวะแวดล้อมที่มีไนโตรเจนต่ำ (Clode 2009) ภายในนิวเคลียสมีโครโมโซมที่อัดตัวแน่น และมีจำนวนโครโมโซมอยู่ระหว่าง 26-97 โครโมโซม โดยแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิด โดยเซลล์แต่ละเซลล์ประกอบด้วย 1.5 - 4.8 pg DNA (Lajeunesse 2005)

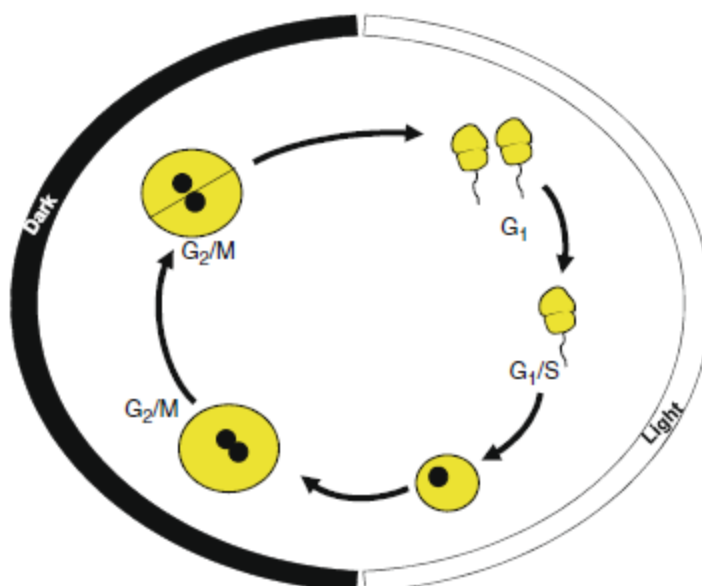


รูปที่ 2 เซลล์ zooxanthellae (*Symbiodinium* sp.) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดย T คือ ไทลาคอยด์ (thylakoid), N คือ นิวเคลียส (nucleus) ซึ่งภายในมีโครโมโซม (chromosomes) อัดตัวแน่น, M คือ ไมโทคอนเดรีย (mitochondria), P คือ ไพรีนอยด์ (pyrenoid), S คือ แป้ง (starch) และ U คือ ผลึกกรดยูริก (crystal of uric acid) (Stambler 2011)

zooxanthellae มี 2 สภาวะ คือ coccoid form (มีลักษณะกลม ไม่เคลื่อนที่) และ gymnodioid form (มีลักษณะเช่นเดียวกับ naked dinoflagellate เคลื่อนที่โดยใช้ flagella) โดยในผู้ให้อาศัย zooxanthellae จะพบเฉพาะสภาวะ coccoid form เท่านั้น และเพิ่มปริมาณโดย การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis) เซลล์ zooxanthellae ที่อยู่ในเนื้อเยื่อปะการังจะอยู่ในสภาวะ coccoid form และจะมีโครงสร้างผนังเซลล์แตกต่างจากสภาวะ gymnodioid form เล็กน้อยเมื่อนำเซลล์มาเพาะเลี้ยง เซลล์จะมีการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน (Wakefield 2000)

## การสืบพันธุ์

สำหรับเซลล์เดี่ยวในสกุล *Symbiodinium* ทั้งที่อยู่ในผู้ให้อาศัยตามธรรมชาติและในการเพาะเลี้ยงจะพบเฉพาะ haploid เท่านั้น วัฏจักรเซลล์ปกติจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับการกระตุ้นจากช่วงมืดและช่วงสว่างที่เหมาะสม โดยช่วงมืด : สว่าง ที่เหมาะสมคือ 12 : 12 ชั่วโมง โดยเริ่มจากระยะ  $G_1$  ไปสู่ระยะ S และหลังจากนั้นจะเข้าสู่ระยะ  $G_2/M$  ภายใน 24 ชั่วโมง (ดังแสดงในรูปที่ .3) ซึ่งระยะ  $G_1$ , S และ  $G_2$  เป็นระยะย่อยในระยะอินเตอร์เฟส โดย  $G_1$  เซลล์เจริญเติบโต โดยมีการสร้างโปรตีนและส่วนประกอบต่างๆของเซลล์และออร์แกเนลล์ เช่น ไมโทคอนเดรีย และเอ็นโดพลาสมิก เร็คติคูลัม ระยะ S เซลล์เจริญเติบโตมากขึ้น มีการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ, ระยะ  $G_2$  เซลล์เจริญเติบโตพร้อมสำหรับการแบ่งเซลล์ เมื่อเสร็จสิ้นระยะ  $G_2$  ก็จะเข้าสู่ระยะไมโทซิส (ระยะ M)



รูปที่ 3 วัฏจักรเซลล์ *Symbiodinium* sp. (เพาะเลี้ยง) ระหว่างช่วงมืดและช่วงสว่าง ระยะ  $G_1$ ,  $G_1/S$  และ  $G_2/M$  (Stambler 2011)

แสงจะเป็นตัวขับเคลื่อนให้เซลล์เติบโตและเข้าสู่ระยะที่มีการสังเคราะห์ DNA (เช่น ระยะ  $G_1$  เข้าสู่ระยะ S และเข้าสู่ระยะ  $G_2/M$ ) เพิ่มการเคลื่อนที่และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง, ยับยั้งการสังเคราะห์แสงและหยุดการเพิ่มจำนวนของเซลล์ ส่วนความมืดจะทำให้เซลล์เข้าสู่ระยะการแบ่งตัวแบบไมโทซิส ในขณะที่เซลล์จะเปลี่ยนจากรยะ  $G_2/M$  เป็นระยะ  $G_1$  (Wang 2008)

ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (The doubling times) จะเป็นเวลาสั้นๆเมื่ออยู่ในการเพาะเลี้ยง และใช้เวลาหลายวันเมื่ออาศัยอยู่ในผู้ให้อาศัย (Wilkerson 1988) หากขาดอาหารไม่เพียงพอ จะใช้เวลาประมาณ 8 วัน (Dubinsky 1994)

การฟื้นตัวของผู้ให้อาศัยหลังการฟอกขาวขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าของ zooxanthellae ด้วย ซึ่งอาจใช้เวลาไม่น้อยกว่า 5 วัน (Toller 2001)

การจัดจำแนกชนิด zooxanthellae

*Symbiodinium* แตกต่างกันไปตามลักษณะภายนอกของเซลล์, องค์ประกอบภายในเซลล์, วัฏจักรของเซลล์, อัตราการเติบโต, การติดเชื้อของผู้ให้อาศัย และการปรับตัวต่อแสง ประกอบด้วย 8 สายพันธุ์ (Lineages/Subgeneric) “Clade” A-H โดยแต่ละ clade มีหลายtypes/genotypes (LaJeunesse 2008)

จัดจำแนกชนิดโดย a). Nuclear ribosomal genes และ spacer regions : the small subunit (SSU or 18S), Large subunit (LSU or 28S) และ internal spacer regions

b). Mitochondrial cytochrome b (cytb)

c). DNA chloroplast 23S rDNA

(Coffroth 2005); Sampayo et al., 2009)

สกุล *Symbiodinium* ที่พบ เช่น

*Symbiodinium bermudense*, *Symbiodinium cariborum*,

*Symbiodinium corculorum*, *Symbiodinium goreauii*,

*Symbiodinium kawagutii*, *Symbiodinium meandrinae*,

*Symbiodinium muscatinei*, *Symbiodinium microadriaticum*,

*Symbiodinium pilosum*, *Symbiodinium pulchra*,

*Symbiodinium trenchii*, *Symbiodinium californium* เป็นต้น

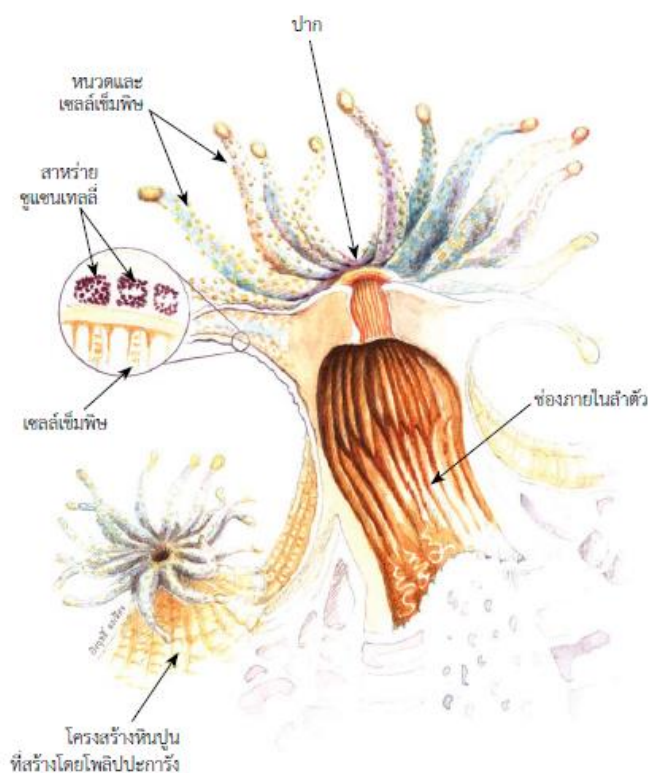
โดยทั่วไปในปะการังจะพบ *Symbiodinium* clade C ในบางครั้งอาจจะพบ clade A, B, D, F และ G โดยในปะการังแข็งพบ 6 clades ได้แก่ A-D, F และ G, ปะการังในแถบอินโดแปซิฟิกพบ zooxanthellae หลากหลาย clade แต่พบ clade C เป็นหลัก (LaJeunesse 2005) โดยทั่วไป clade C กระจายตัวกว้างที่สุด มีความทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มในช่วงกว้าง และเป็น clade ที่พบเด่นในเขตร้อน บาง type ของ clade D จะสามารถทนต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ (Baker 2003) สำหรับเขตอบอุ่นจะพบ zooxanthellae clade B เนื่องจาก clade B สามารถปรับตัวให้อยู่ในน้ำทะเลที่เย็นและมีแสงน้อยได้ (Rodriguez-Lanetty 2001)

## 2. ความสัมพันธ์ของ zooxanthellae กับผู้ให้อาศัย

สัตว์บางชนิดได้รับอาหารจากการสังเคราะห์แสงโดยสิ่งมีชีวิตอื่นที่อาศัยอยู่ภายใน เช่น ปะการังจะสัมพันธ์กับ zooxanthellae ซึ่งเป็นไดโนแฟลกเจลเลต สกุล *Symbiodinium* (รูปที่ 4) โดยสิ่งมีชีวิตทั้งสองนั้นจะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ความสัมพันธ์ในรูปแบบนี้จะพบมากในสัตว์ฟอสโฟริเฟอรา (ฟองน้ำ) และฟอสโฟไนดาเรีย (เช่น ปะการัง, ดอกไม้ทะเล) (Venn 2008) ไดโนแฟลกเจลเลต เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีความสำคัญมากต่อระบบนิเวศ เนื่องจากเป็นผู้ผลิตขั้นต้นให้แก่ผู้บริโภคขนาดเล็กไปถึงผู้บริโภคขนาดใหญ่ ไดโนแฟลกเจลเลตที่อาศัยอยู่ในสิ่งมีชีวิตอื่นแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันนั้น พบได้ในสัตว์หลากหลายชนิด ได้แก่ ปะการัง, ดอกไม้ทะเล, สัตว์กลุ่มหอย และ Foraminifera โดยส่วนใหญ่ไดโนแฟลกเจลเลตที่พบจะเป็นสกุล *Symbiodinium* ซึ่งมี 8 สายพันธุ์ (clades) ได้แก่ A-H (Stambler 2011) สำหรับปะการังและดอกไม้ทะเลจะสัมพันธ์กับ zooxanthellae ซึ่งเป็นไดโนแฟลกเจลเลต สกุล *Symbiodinium* ที่มีสีน้ำตาลอมเหลืองอาศัย อยู่ในเนื้อเยื่อชั้น endoderm ของผู้ให้อาศัย (Trench 1987) เซลล์ zooxanthellae ซึ่งมีการแบ่งตัวและแยกจากไซโทพลาสซึมของผู้ให้อาศัย และเยื่อหุ้มบริเวณโดยรอบ จะรวมเรียกว่า “Symbiosome” เยื่อหุ้มรอบเซลล์ zooxanthellae นั้นมีหลายชั้น เป็นส่วนแสดงขอบเขตระหว่างผู้ให้อาศัย และ zooxanthellae มีการขนส่งแก๊สและคาร์บอนผ่านเยื่อหุ้มเหล่านี้ (Wakefield 2000) และช่วยส่งเสริมการแพร่และการขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารจากสิ่งแวดล้อมสู่เซลล์ zooxanthellae (Muscatine 1998) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกัน zooxanthellae จากการถูกย่อยโดยผู้ให้อาศัยอีกด้วย (Chen 2005) ผู้ให้อาศัยจะสัมพันธ์กับ zooxanthellae แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดย zooxanthellae จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์และธาตุอาหารจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของปะการังมาใช้ในการสังเคราะห์แสงที่ได้ผลผลิตเป็นออกซิเจนและสารอาหารกลับคืนให้ปะการัง (Trench 1979) โดยให้พลังงานและสารอาหารแก่ปะการังมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานและสารอาหารที่ปะการังได้รับ (Muscatine 1977) โดยทั่วไปจะพบ zooxanthellae clade C เป็นหลัก ในบางกรณีอาจพบ clade A, B, D, F และ G ด้วย โดย clade C จะพบกระจายในวงกว้างโดยเฉพาะในเขตร้อน แต่ clade D สามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมได้ดีที่สุดสำหรับ clade B พบเฉพาะในเขตอบอุ่น ซึ่งมีความเข้มของแสงต่ำ และน้ำทะเลมีอุณหภูมิต่ำ (Stambler 2011)

ความหนาแน่นของเซลล์ zooxanthellae แตกต่างกันไปตามชนิดของผู้ให้อาศัยและ ชนิดของ zooxanthellae โดย 1 ตารางเซนติเมตรของพื้นที่ผิวปะการังจะพบ zooxanthellae นับล้านเซลล์ (Drew 1972) ผู้ให้อาศัยบางชนิด เช่น ปะการัง *Stylophora pistillata* มีจำนวน zooxanthellae ต่อพื้นที่น้อยมาก ในขณะที่ดอกไม้ทะเล *Condylactis gigantea* มีจำนวน zooxanthellae ต่อพื้นที่แตกต่างกันไปอย่างมีนัยสำคัญ (Muscatine 1998) นอกจากนี้ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ผันแปรตามปริมาณอาหารที่ได้รับ ในปะการังที่ได้รับอาหารจะมีจำนวนเซลล์ zooxanthellae ต่อพื้นที่มากกว่าปะการัง ที่อดอาหาร (Houlbreque 2004) ประชากร zooxanthellae ในผู้ให้อาศัย อาจจะมี 1 หรือหลายจีโนไทป์ (Genotypes) และอาจเปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อมต่างๆ (Baker 2007) ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae สามารถ

ลดลงต่ำที่สุดเมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟอกขาว และอาจมีการรับเซลล์เพิ่มเข้ามา (Inoculum) เพื่อเริ่มต้นประชากรใหม่ในผู้ให้อาศัย กรณีที่ผู้ให้อาศัยรอดชีวิตจากการฟอกขาว (Stambler 2011)

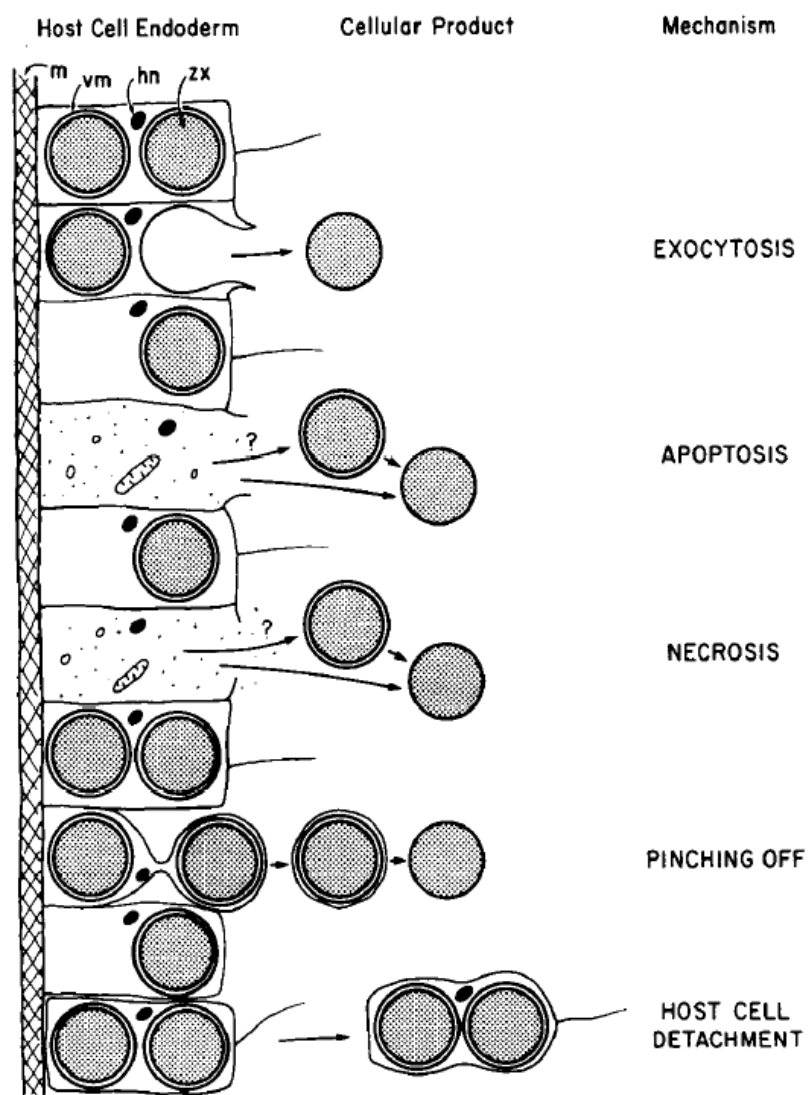


รูปที่ 4 ภายวิภาคของโพลิปปะการังซึ่งมี zooxanthellae อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อ (นลินี ทองแถม และนิพนธ์ พงศ์สุวรรณ 2553)

### 3. ปรากฏการณ์ฟอกขาว (Bleaching)

ปรากฏการณ์ฟอกขาว (Bleaching) เกิดขึ้นเมื่อมีการลดต่ำลงของความหนาแน่นเซลล์และ/หรือปริมาณของรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae โดยมีสาเหตุจากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือความเค็มลดลง เป็นต้น ทำให้อัตราการหลุดออกของ zooxanthellae จากผู้ให้อาศัยเพิ่มขึ้น ซึ่งการหลุดออกจากผู้ให้อาศัย มี 5 แบบ ได้แก่ 1). exocytosis เป็นกลไกที่ zooxanthellae แยกออกจากเนื้อเยื่อชั้น endoderm ของผู้ให้อาศัย 2). apoptosis เซลล์ zooxanthellae ตาย โดยเป็นการตายตามปกติที่เกิดขึ้นในเซลล์สิ่งมีชีวิต 3). Necrosis เป็นการตายเฉพาะส่วน ซึ่ง apoptosis และ necrosis หลุดออกจากผู้ให้อาศัย โดยมีชิ้นส่วนของผู้ให้อาศัยหลุดออกไปด้วย 4). pinching off เซลล์ zooxanthellae ที่หลุดออกจากผู้ให้อาศัย มีเยื่อหุ้มที่ล้อมรอบ zooxanthellae หลุดออกไปด้วย 5). host cell detachment เซลล์ zooxanthellae ที่หลุดออกจากผู้ให้อาศัยไม่เสียหาย โดยมีองค์ประกอบต่างๆ

ครบสมบูรณ์ (Rodolfo-Metalpa 2006) (รูปที่ 5) เมื่อ zooxanthellae ออกจากผู้ให้อาศัย ทำให้ผู้ให้อาศัยมีสีจางลงและอ่อนแอเพราะไม่ได้รับสารอาหารที่เพียงพอ และอาจตายหากไม่สามารถทนต่อสภาวะนี้ได้ (Podesta 1997)



รูปที่ 5 5 กลไกที่ zooxanthellae หลุดออกจากเนื้อเยื่อชั้น endoderm ของสัตว์ทะเลไม่กระดูกสันหลังกลุ่ม Cnidarians (Gates 1992)

ซึ่งในปัจจุบันปรากฏการณ์ฟอกขาวมีความถี่และรุนแรงมากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2553 เกิดปรากฏการณ์ฟอกขาว เมื่ออุณหภูมิน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจาก 29 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ปลายเดือนมีนาคม 2553 สามสัปดาห์ต่อมาได้เกิดปะการังฟอกขาว เป็นวงกว้างทั้งอ่าวไทยและ



อันดามัน ซึ่งแนวปะการังเสียหายมากที่สุดเป็นประวัติการณ์ (นลินี ทองแถม และ นิพนธ์ พงศ์สุวรรณ , 2553) ตัวอย่างการเกิดปะการังฟอกขาวแสดงในรูปที่ 6

ความเค็มต่ำก็ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ฟอกขาวเช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มโดยทันที ปะการังอ่อน *Sarcophyton* spp. บริเวณค่ายพระมหาเจษฎาราชเจ้า อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี ฟอกขาวที่ระดับความเค็ม 20 psu และเมื่อทำการทดลองแบบเรื้อรังปะการังอ่อน *Sarcophyton* spp. จะฟอกขาวที่ระดับความเค็ม 10 psu (Chavanich 2009) และความเค็มที่เริ่มทำให้เกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในช่วงการเกิดอุทกภัยปี 2554 มีค่าเท่ากับ 11 psu (ธรรมศักดิ์ ยี่มิน และคณะ 2554)



รูปที่ 6 ปะการังเขากวางฟอกขาวที่เกาะแสมสาร อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี

#### 4. ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อ zooxanthellae

เมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม zooxanthellae จะปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายในเซลล์ เช่น การหดตัวขององค์ประกอบต่างๆภายในเซลล์, การมีช่องว่างภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น, การทำงานขององค์ประกอบต่างๆภายในเซลล์ไม่ปกติ และ thylakoids คลายตัว เป็นต้น (Franklin 2004) เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่าหรือเท่ากับ 34 องศาเซลเซียส) เซลล์จะตายโดยมีขนาดเล็กของ cytoplasmic organelles รวมเข้าด้วยกัน และเยื่อหุ้มเซลล์แตกออก (Strychar 2009) แม้ว่าสาเหตุของการที่ผู้ให้อาศัยสูญเสีย zooxanthellae มีหลายประการเช่น อุณหภูมิ น้ำทะเลเพิ่ม



สูงขึ้น, ความเข้มแสงเพิ่มขึ้น, ความเค็มเปลี่ยนแปลง หรือ ผู้ให้อาศัยติดเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น (Fagoonee 1999) แต่อุณหภูมิน้ำทะเลถือเป็นปัจจัยหลัก เพราะแม้ว่าอุณหภูมิน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติเพียง 1-2 องศาเซลเซียส ก็อาจส่งผลต่อทั้งผู้ให้อาศัยและ zooxanthellae ได้ (Jones 1998) เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดต่ำลง และการผลาญออกซิเจนไม่ปกติ รวมถึงอัตราการหลุดออกจากผู้ให้อาศัยเพิ่มขึ้น (Hoegh-Guldberg 1989) Smith, 1989) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและความเข้มแสง ที่ลดลง ทำให้ความทนทานของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการัง *Pocillopora damicornis* และปะการัง *Montipora verrucosa* ลดต่ำลง (Sakami 2000) zooxanthellae ที่แยกจากปะการัง *Agaricia lamarki* และ *Agaricia agaricites* อ่อนไหวต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น (Warner 1996) อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นสาเหตุทำให้ zooxanthellae หลุดออกจาก ดอกไม้ทะเล *Aiptasia pulchella* และปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* อุณหภูมิ จะส่งผลต่อความหนาแน่นของ zooxanthellae ที่แยกออกมาจาก tentacle ของดอกไม้ทะเล *Anthopleura elegantissima* อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลมากกว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น แสง เป็นต้น (Saunders 1997) เมื่ออุณหภูมิน้ำทะเลเพิ่มขึ้นจากปกติ 27 องศาเซลเซียส เป็น 32 องศาเซลเซียส zooxanthellae จะมีสีจางลงและมีจำนวนต่อพื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และหากเพิ่มอุณหภูมิเป็น 34 องศาเซลเซียส ปะการังจะตายภายใน 8 ชั่วโมง (Hoegh-Guldberg 1989) Smith, 1989) รังควาญที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ใน zooxanthellae จากปะการัง *Cladocora caespitosa* และ *Oculina patagoniga* ที่เก็บจากอ่าว Fiascherio ประเทศอิตาลี ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส (Rodolfo-Metalpa 2006) ส่วนความหนาแน่นของ zooxanthellae ในเนื้อเยื่อปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* บริเวณอ่าว Kaneohe ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงฤดูร้อนจะต่ำกว่าในช่วงฤดูหนาว (Stimson 1997) ที่บริเวณ Great Barrier reef ประเทศออสเตรเลีย มีการศึกษาแนวโน้มความหนาแน่นของ zooxanthellae ในปะการังเขากวาง *Acropora millepora* พบว่าในช่วงฤดูร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าฤดูหนาวเช่นกัน เนื่องจากอุณหภูมิน้ำทะเลในฤดูร้อนสูงกว่าฤดูหนาว (Ruby et al., 2005) นอกจากนี้ในบริเวณนี้ ยังมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อ zooxanthellae จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว โดยจำนวน zooxanthellae ต่อพื้นที่ในปะการัง *Stylophora pistillata* และปะการัง *Seriatopora hystrix* ที่เก็บจากบริเวณขอบของ Lizard Island lagoon เริ่มลดลงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส (Hoegh-Guldberg 1989) สอดคล้องกับการศึกษาบทบาทของ zooxanthellae ในการทนทานต่ออุณหภูมิ พบว่าในปะการัง *Acropora millepora* บริเวณชายฝั่งออสเตรเลีย จะฟอกขาวและตายมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะมี zooxanthellae clade D ซึ่งถือว่าเป็น clade ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมมากที่สุดก็ตาม เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไปส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae นั้นเอง โดยที่อุณหภูมิ 32 และ 34 องศาเซลเซียสจะส่งผลชัดเจนต่อการสังเคราะห์แสง (วัดโดย Pulse-amplitude modulation fluorometry ในช่วง 30-36 องศาเซลเซียส ของ zooxanthellae ในปะการัง *Agaricia agaricites* และ *Agaricia lamarki*) (Warner 1996)

สำหรับในประเทศไทย ได้ศึกษาความผันผวนของฤดูกาลต่อ zooxanthellae จากปะการัง *Coeloseris mayeri*, *Goniastrea retiformis*, *Porites lutea* และ *Goniastrea asperaa* บริเวณจังหวัดภูเก็ต ซึ่งจำนวน zooxanthellae และรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae พบมากในช่วงปลายฤดูฝน (พฤศจิกายน) และพบน้อยในช่วงฤดูร้อน (มีนาคมถึงพฤษภาคม) (Brown 1996) เนื่องจากอุณหภูมิน้ำทะเลในฤดูร้อนสูงกว่าฤดูฝน (Berkelmans 2006) นอกจากอุณหภูมิแล้ว ความเค็มก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อ zooxanthellae โดยความเค็มที่ต่ำลง จะทำให้ความทนทานของ zooxanthellae ลดลง (Sakami 2000) เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae จะลดลงเมื่อความเค็มเปลี่ยนแปลงจากเดิมทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แม้ในช่วงแคบ แต่ความเค็มที่ลดลงจะส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงได้ง่ายกว่าความเค็มที่เพิ่มขึ้น ผลจากการศึกษาความเค็มที่ต่ำลงต่ออัตราการออกจาก ผู้ให้อาศัยของ zooxanthellae ในดอกไม้ทะเล *Anthopleura elegantissima* พบว่า zooxanthellae จะออกจากดอกไม้ทะเล *Anthopleura elegantissima* มากขึ้นเมื่อสัมผัสกับ น้ำทะเลที่มีความเค็มต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น (Engebretson 1994) zooxanthellae จากปะการัง *Stylophora pistillata* จะอ่อนไหวต่อความเค็มที่เปลี่ยนแปลงไปแม้ในช่วงแคบ (ความเค็ม 38 psu คือความเค็มควบคุมในการทดลอง) เนื่องจากทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ลดต่ำลง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยความเค็มที่ลดต่ำลงมีผลมากกว่าความเค็มที่เพิ่มสูงขึ้น (Ferrier-Pages 1999) แต่การเติบโตของ zooxanthellae จากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ก็ไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าอยู่ภายใต้สภาวะความเค็มต่ำ (15-20 psu) เนื่องจากอุณหภูมิในขณะนั้นปกติ (28-32 องศาเซลเซียส) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นมาก (36 องศาเซลเซียส) อัตราการเติบโตของ zooxanthellae จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิส่งผลต่อ zooxanthellae มากกว่าความเค็ม

สำหรับในประเทศไทยจากการรายงานผลกระทบของปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวต่อแนวปะการัง จ.ตรวด ปี 2553 โดยศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันตก พบว่าปะการังชนิดเด่นที่แสดงการฟอกขาวรุนแรง ได้แก่ ปะการังในกลุ่มปะการังเขากวาง (*Acroporidae*) ปะการังดอกกะหล่ำ (*Pocillopora damicornis*) และปะการังโขด (*Porites lutea*) การศึกษาเกี่ยวกับ zooxanthellae ในประเทศไทยนั้นยังมีน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในด้านสายพันธุ์ที่พบในประเทศไทย เช่น การศึกษา zooxanthellae จากปะการัง *Palythoa caesia* และ *Oulastrea crispata* บริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกของ Lien *et al.* เป็นต้น และได้มีการศึกษา zooxanthellae ที่สัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อมบ้าง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวมากที่สุด คือ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ตามรายงานการศึกษาการตอบสนองของปะการังและแนวปะการังต่อเหตุการณ์การฟอกขาวของแนวปะการัง ปี 2534 ในทะเลอันดามัน ประเทศไทยของ (อุกกฤต สตฤมินทร์ 2536) พบว่า บริเวณแนวปะการัง สถาบันวิจัยชีววิทยาและประมงทะเล จ.ภูเก็ต เกิดปรากฏการณ์ฟอกขาวในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นผิดปกติในปี 2534 โดยอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยปกติของฤดูร้อน 1-3 องศาเซลเซียส ติดต่อกันประมาณ 2 เดือนครึ่ง เช่นเดียวกับรายงานผลกระทบของปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวต่อแนวปะการัง จ.ตรวด โดยศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันออก พบว่า แนวปะการังโดยรวมฟอกขาว 70-80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนจาก 29 องศาเซลเซียส ในเดือนมกราคม 2553 เป็น 32 องศาเซลเซียส ใน

เดือนพฤษภาคม 2553 (รณวัน บุญประกอบ 2553) สอดคล้องกับรายงานการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวที่เกาะล้าน จ.ชลบุรี ในปี 2553 อุณหภูมิน้ำทะเลขณะนั้นอยู่ที่ 32.7 องศาเซลเซียส รวมถึงสามารถเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวจากความเค็มที่ต่ำลงได้เช่นเดียวกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยผลกระทบจากเหตุการณ์อุทกภัยในปี 2554 ทำให้ปะการังบริเวณเกาะค้างคาว จ.ชลบุรี เกิดฟอกขาว ซึ่งมีรายงานความเค็มที่ 11.08 psu (ธรรมศักดิ์ ยี่มิน และคณะ 2554)

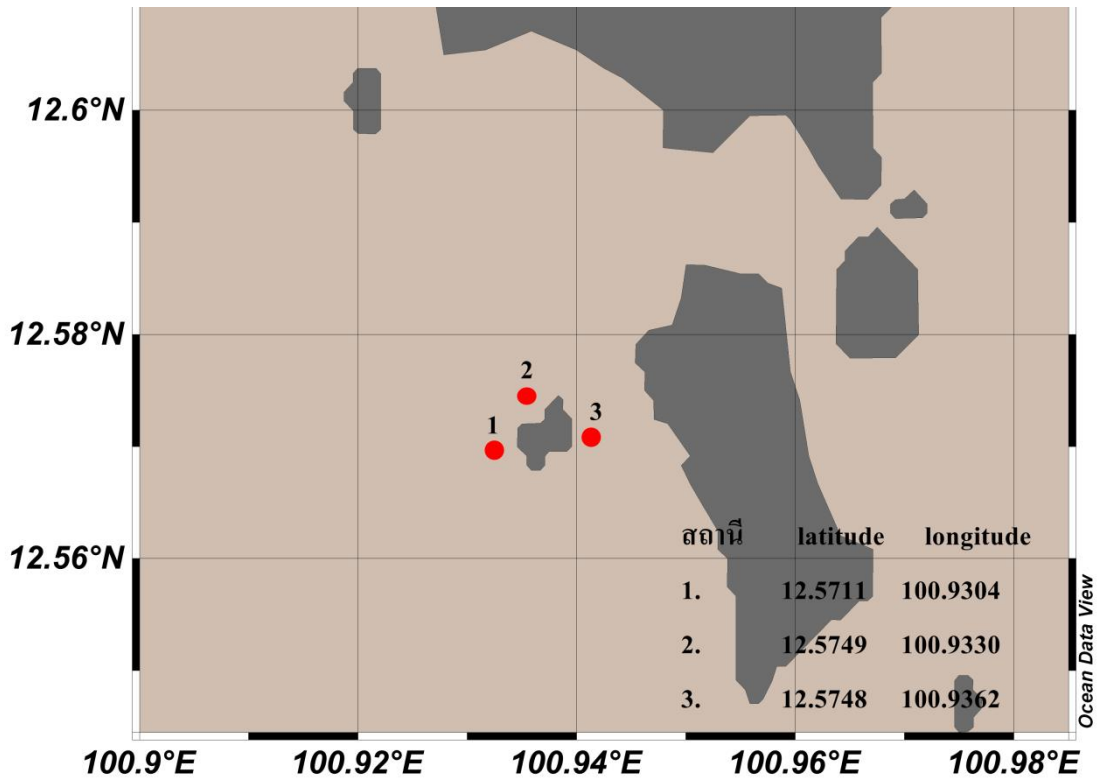


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3  
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

บริเวณเกาะเสม็ด ต.เสม็ด อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 เกาะเสม็ด อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี

2. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างปะการังและดอกไม้ทะเล รวมถึงข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา ตามวันที่และพิกัดที่ปรากฏในตารางที่ 1

### ตารางที่ 1 วันที่และพิกัดของจุดเก็บตัวอย่าง

ชนิดของผู้ให้อาศัย	วันที่เก็บตัวอย่าง	Latitude	Longitude
ปะการังดอกกะหล่ำ <i>Pocillopora damicornis</i>	1 กันยายน 2555	12.5711	100.9304
ปะการังดอกเห็ด <i>Fungia fungites</i>	16 มีนาคม 2556	12.5749	100.9330
ดอกไม้ทะเล <i>Epiactis sp.</i>	16 มีนาคม 2556	12.5748	100.9362

### 3. การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ, ความเค็ม, ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ค่าการนำไฟฟ้า และความเป็นกรด-เบส ที่ระดับความลึกทุก 1 เมตร โดยใช้เครื่องมือ YSI Model 600 XL (Multiprobe system) โดยปรากฏรายละเอียดในตารางที่ 17-19

### 4. การเก็บตัวอย่างปะการังและดอกไม้ทะเล

สำรวจตัวอย่างปะการังและดอกไม้ทะเลด้วยวิธีดำน้ำตื้น ก่อนเก็บปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis*, ปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* และดอกไม้ทะเล *Epiactis sp.* ด้วยวิธี ดำน้ำลึกที่ระดับความลึก 3-6 เมตร นำตัวอย่างใส่ในถังโฟม โดยให้ตัวอย่างจมอยู่ใต้น้ำทะเลตลอดเวลา แล้วนำกลับห้องปฏิบัติการ 730 ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทันที

### 5. การแยกและเลี้ยง zooxanthellae จากผู้ให้อาศัยชนิดต่างๆ

นำตัวอย่างปะการังและดอกไม้ทะเลมาฉีดด้วยน้ำทะเลกรองเพื่อแยก zooxanthellae บน petri dish หลังจากนั้นนำน้ำที่ค้ำใน petri dish ไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ตูดน้ำทะเลเหนือตะกอนทิ้ง แล้วจึงนำตะกอนก้อนหลอดใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอนสูตร Daigo' IMK (Nihon Pharmaceutical Co., Ltd) นำไปบ่มในห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน ซึ่งมีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ ช่วงมืด : สว่าง 12 : 12 ชั่วโมง หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ นำมาแยก zooxanthellae ด้วยเทคนิค pasteur pipette single cell isolate แล้วทำการเพิ่มจำนวนและเลี้ยงในอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอนสูตร Daigo' IMK (Nihon Pharmaceutical Co., Ltd) นำไปบ่มในห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน ซึ่งมีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ ช่วงมืด : สว่าง 12 : 12 ชั่วโมง

## 6. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae

นำหัวเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 27 (ควบคุม), 30 และ 33 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มทำการทดลอง เพื่อให้ zooxanthellae ปรับตัวที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นในแต่ละระดับอุณหภูมิจะประกอบด้วยชุดการทดลองต่างระดับความเค็ม 4 ระดับ คือ 15, 25, 28 (ควบคุม) และ 33 psu โดยนำเซลล์ zooxanthellae ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอนสูตร Daigo' IMK (Nihon Pharmaceutical CO., Ltd) บรรจุอยู่ 150 มิลลิลิตร โดยให้ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นที่ 4,500 เซลล์ต่อมิลลิลิตร นำชุดการทดลองที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน (3ซ้ำ) ไปบ่มในแต่ละอุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการสูบน้ำเซลล์ในแต่ละขวดทุก 2 วัน เป็นเวลา 14 วัน

คำนวณสัมประสิทธิ์การเติบโตจำเพาะจากสูตรของ Guillard (1973)

$$N_t = N_0 e^{K_e t}$$

โดย  $N_0$  แทน ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

$N_t$  แทน ความหนาแน่นเซลล์ในวันที่  $t$  (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

$K_e$  แทน ค่าคงที่การเติบโตจำเพาะ

$t$  แทน เวลา (วัน)

$N_t = N_0$  ที่  $t = 0$  และเปลี่ยนสมการโดยการเติม  $\log$  ฐาน 10 จะได้

$$\log N = \log N_0 + K_e t \log(e)$$

$$= \log N_0 + (0.4343) K_e t$$

## 7. ศีรษะลักษณะของเซลล์

สังเกตลักษณะของเซลล์ทั้งรูปร่าง ขนาด สี และองค์ประกอบภายในเซลล์ในทุกกลุ่ม การทดลองตลอดการทดลอง ด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ พร้อมบันทึกภาพ

## 8. วิเคราะห์ผลการศึกษา

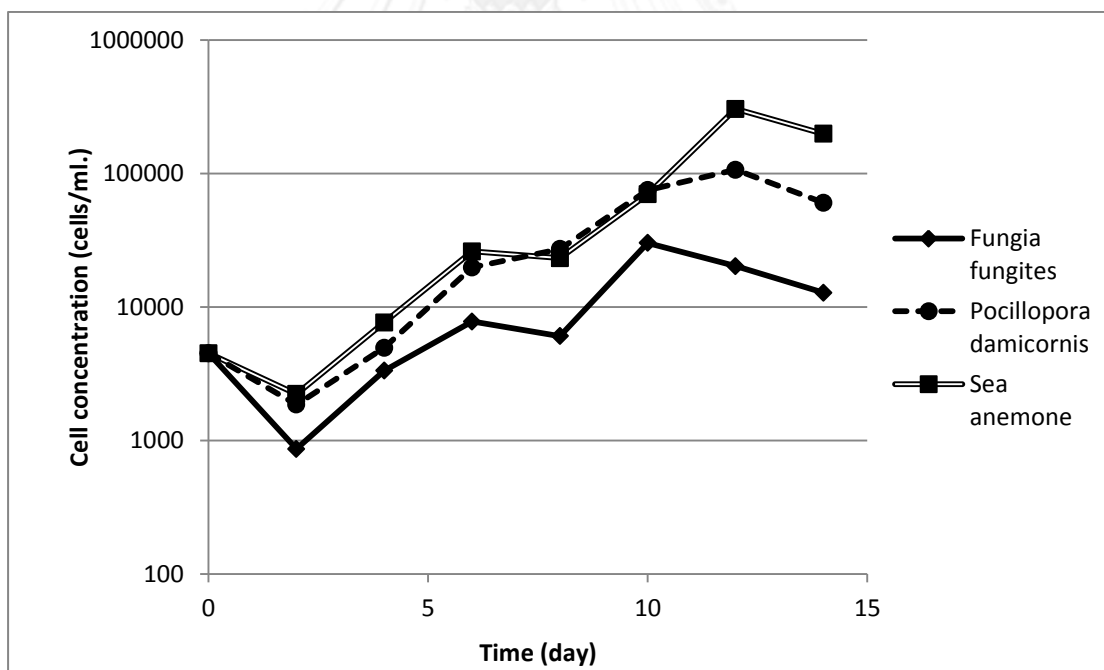
ทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่วางแผนการทดลองแบบ 3x3x4 Factorial design (3 ชนิดของผู้ให้อาหาร, 3 ระดับอุณหภูมิ และ 4 ระดับความเค็ม) ที่มีการสุ่มตลอด

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 1. ลักษณะการเจริญเติบโต (growth characteristic) ของ zooxanthellae ในสภาวะปกติ

ลักษณะการเจริญเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และ ดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ภายใต้สภาวะปกติ ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ ช่วงมืด : สว่าง 12 : 12 ชั่วโมง มีรูปแบบคล้ายกัน โดยในช่วง 2 วันแรก เซลล์ลดจำนวนลงเล็กน้อย (Lag Phase) หลังจากนั้นเซลล์จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 2-6 (Logarithmic Phase) และอัตราการเติบโตจะค่อยๆลดลง (Stationary Phase) ก่อนที่จะลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันสุดท้ายของการทดลอง (Death Phase) (รูปที่ 8) โดยมีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.334, 0.397 และ 0.428 ตามลำดับ ทั้งนี้ในการทดลองจะมีการเปลี่ยนอาหารทุก 14 วัน



รูปที่ 8 Growth characteristic ของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites*, ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ที่ระดับอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็ม 28 psu

## 2. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae

ผลการศึกษาพบว่า ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae มีค่าสูงที่ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) โดยมีค่าสูงที่สุดเมื่ออยู่ภายใต้ระดับความเค็มควบคุม (28 psu) และมีค่าต่ำที่สุดเมื่ออยู่ภายใต้ระดับความเค็มต่ำที่สุดในการทดลอง (15 psu) ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยแต่ละชนิด (ปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites*, ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis*, ดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp.) แตกต่างกันไปในแต่ละอุณหภูมิและความเค็ม แต่ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล (*Epiactis* sp.) มีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะสูงในทุกระดับความเค็ม (ตารางที่ 2) เนื่องจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีปฏิสัมพันธ์ร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ให้อาศัยกับอุณหภูมิ และระหว่างผู้ให้อาศัยกับความเค็ม แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเค็ม (ตารางที่ 16) ดังนั้น ในการนำเสนอผลจึงขอแนะนำเสนอผลการศึกษาของอุณหภูมิและความเค็มต่อผู้ให้อาศัยในแต่ละชนิด

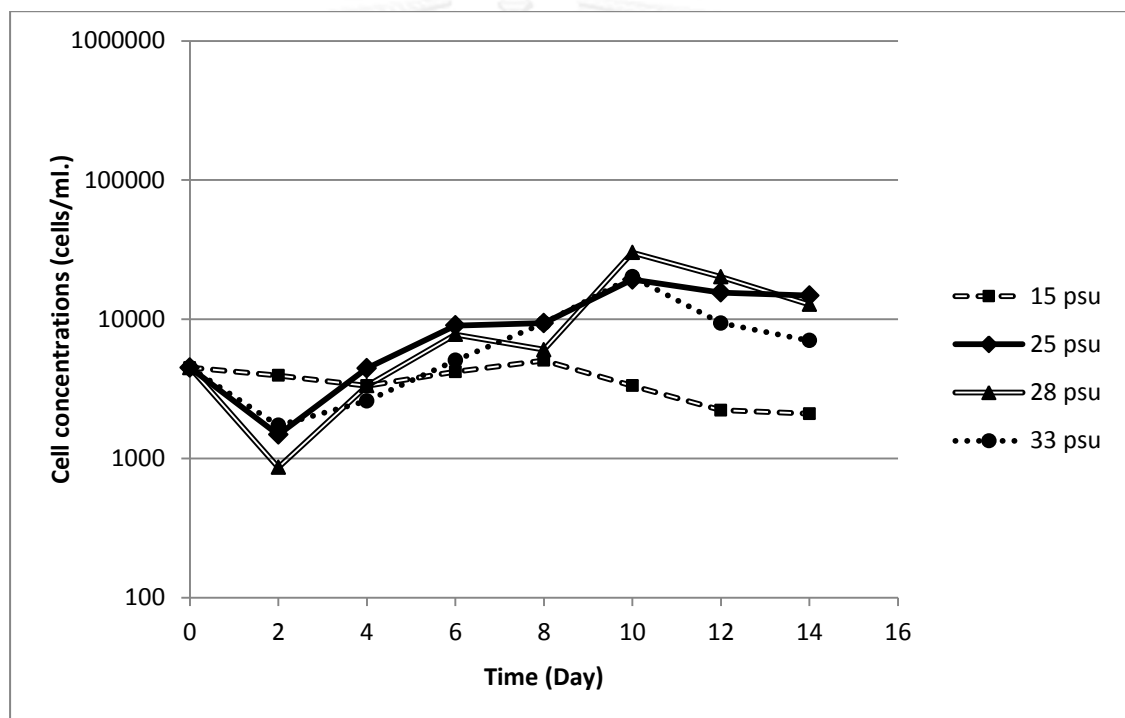


ตารางที่ 2 อัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites*, ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และ ดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ที่อุณหภูมิตั้งที่ 27 และ 30 องศาเซลเซียส

ความเค็ม (psu)	อัตราการเติบโตจำเพาะ					
	27 องศาเซลเซียส			30 องศาเซลเซียส		
	<i>Fungia fungites</i>	<i>Pocillopora damicornis</i>	<i>Epiactis sp.</i>	<i>Fungia fungites</i>	<i>Pocillopora damicornis</i>	<i>Epiactis sp.</i>
15	0.049 ± 0.000	0.282 ± 0.173	0.329 ± 0.097	0.091 ± 0.098	0.256 ± 0.159	0.309 ± 0.198
25	0.220 ± 0.046	0.337 ± 0.255	0.374 ± 0.269	0.186 ± 0.010	0.441 ± 0.235	0.492 ± 0.272
28	0.334 ± 0.074	0.397 ± 0.379	0.428 ± 0.242	0.258 ± 0.135	0.527 ± 0.290	0.530 ± 0.336
33	0.308 ± 0.081	0.380 ± 0.185	0.400 ± 0.169	0.237 ± 0.135	0.437 ± 0.182	0.468 ± 0.353

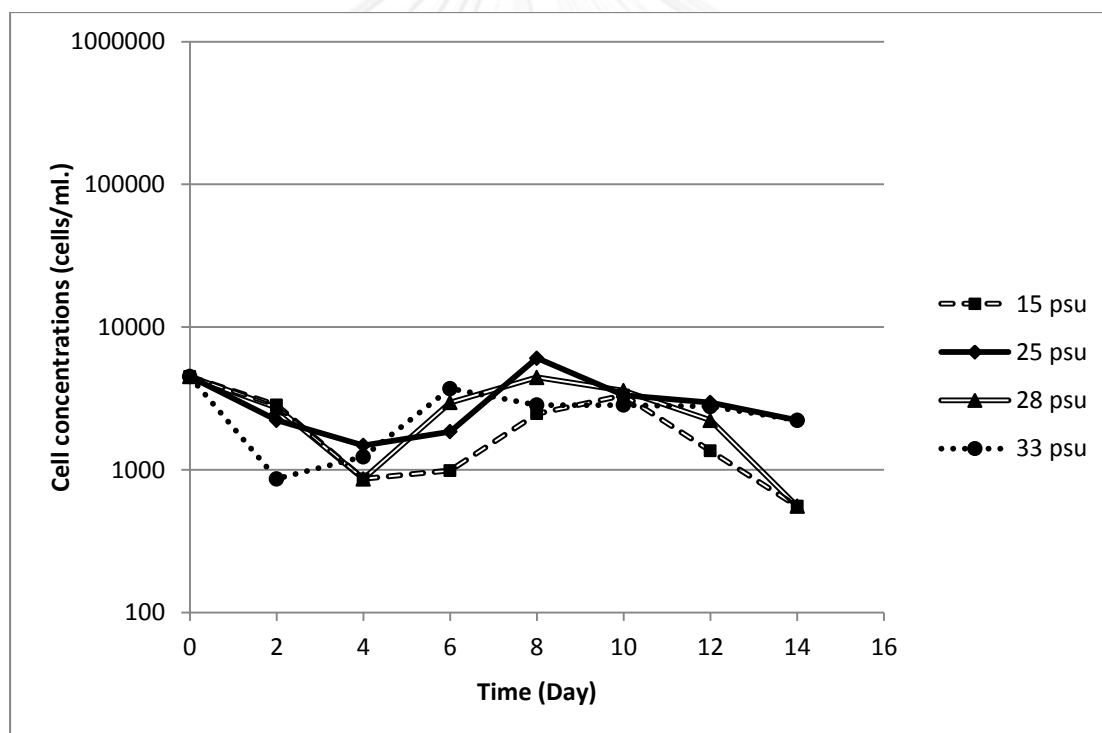
## 2.1. ที่อุณหภูมิ 27 และ 30 องศาเซลเซียส

zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ที่ทุกระดับความเค็ม ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง สำหรับ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้ระดับความเค็มต่ำ (15 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 6-8 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆ ลดลง แต่ที่ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 4-10 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆ ลดลง (รูปที่ 9)



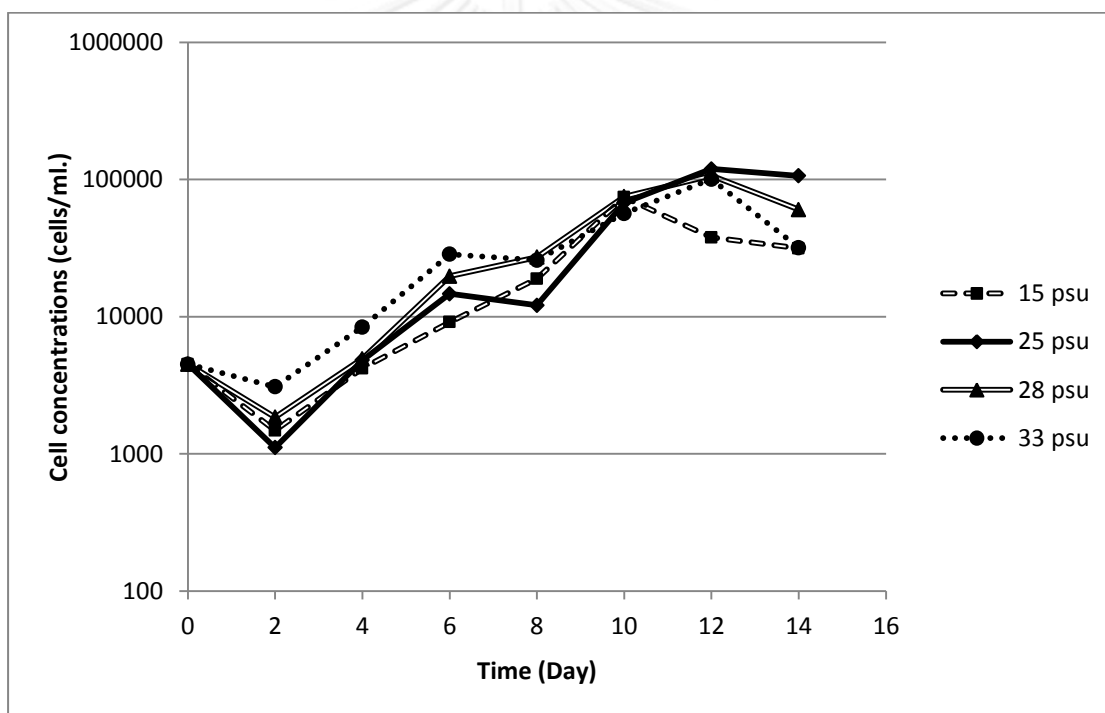
รูปที่ 9 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ทุกระดับความเค็ม ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 4 วันแรกของการทดลอง สำหรับ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้ระดับความเค็มต่ำ (15 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 6-10 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆ ลดลง สำหรับที่ระดับความเค็มสูง (25 และ 28 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 8 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 ของการทดลอง และค่อยๆ ลดลงในวันที่ 12 แต่ที่ระดับความเค็มสูงที่สุดของการทดลอง (33 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในวันที่ 4-6 ของการทดลอง และค่อยๆ ลดลงในวันที่ 8 ของการทดลอง ซึ่งวันที่ 8 จนถึงวันที่ 14 เวลาสิ้นสุดการทดลอง ความหนาแน่นเซลล์ลดลงเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 10)



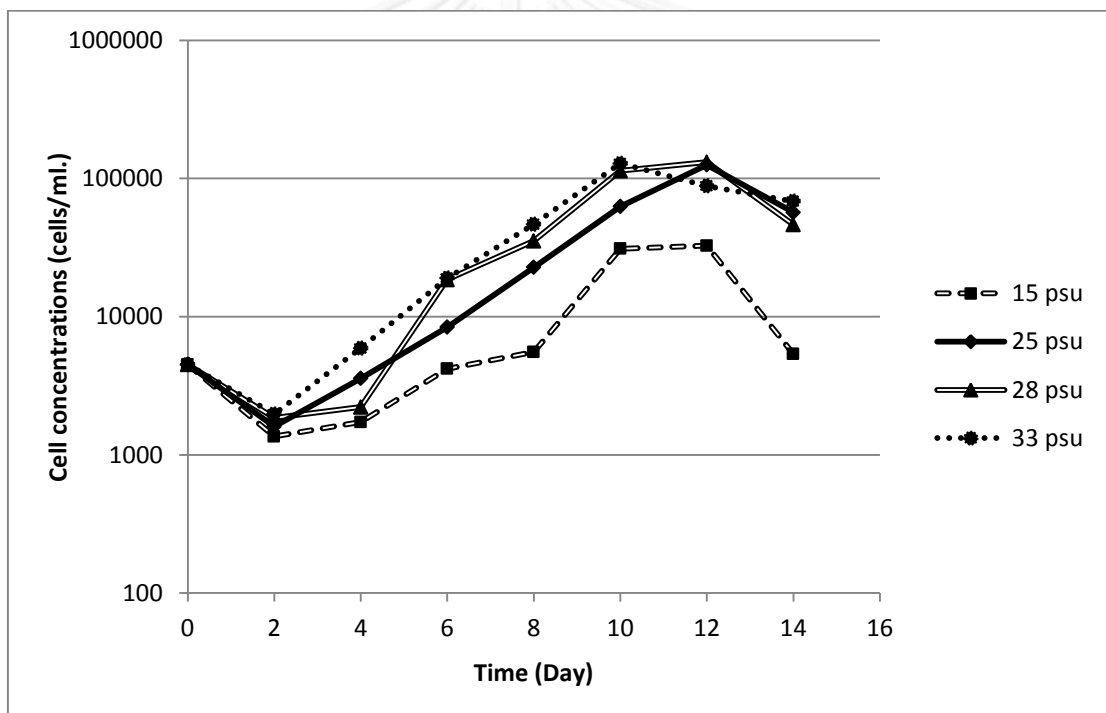
รูปที่ 10 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่ อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ที่ทุกระดับความเค็ม ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง สำหรับ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้ระดับความเค็มต่ำ (15 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4-8 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 ของการทดลอง แต่ที่ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นในวันที่ 4-8 ของการทดลอง และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 10-12 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 14) (รูปที่ 11)



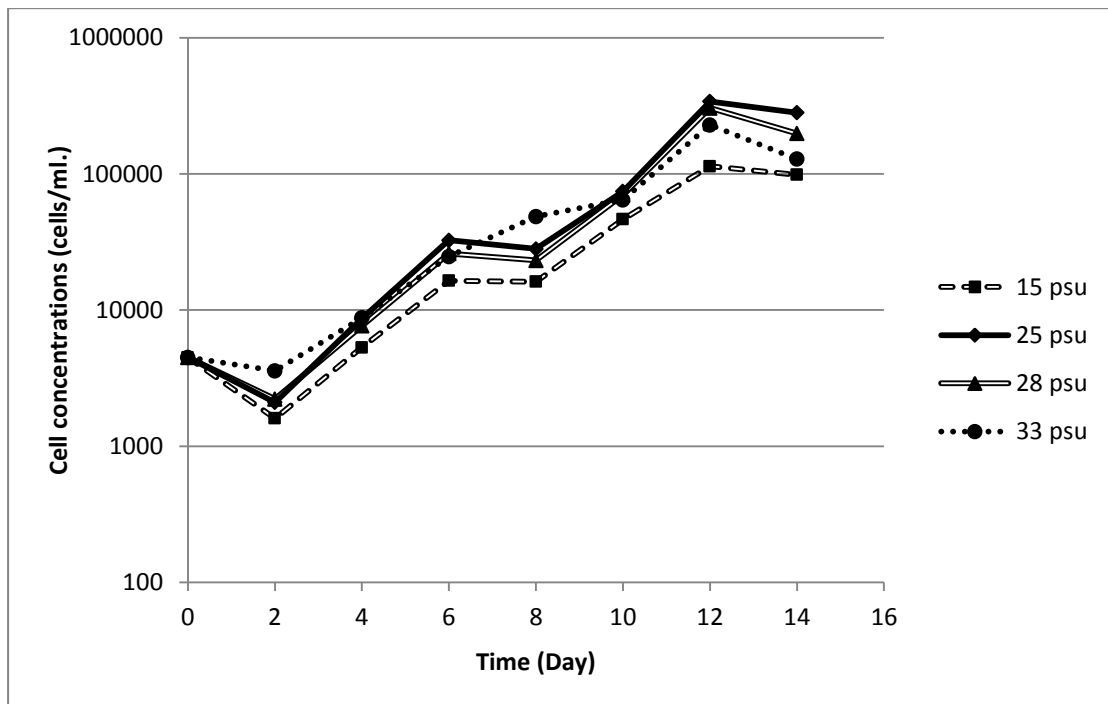
รูปที่ 11 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ทุกระดับความเค็ม ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง สำหรับ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้ระดับความเค็มต่ำ (15 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4-8 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 10-12 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 14 ของการทดลอง แต่ที่ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) ความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 ของการทดลอง และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 6-12 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 14) (รูปที่ 12)



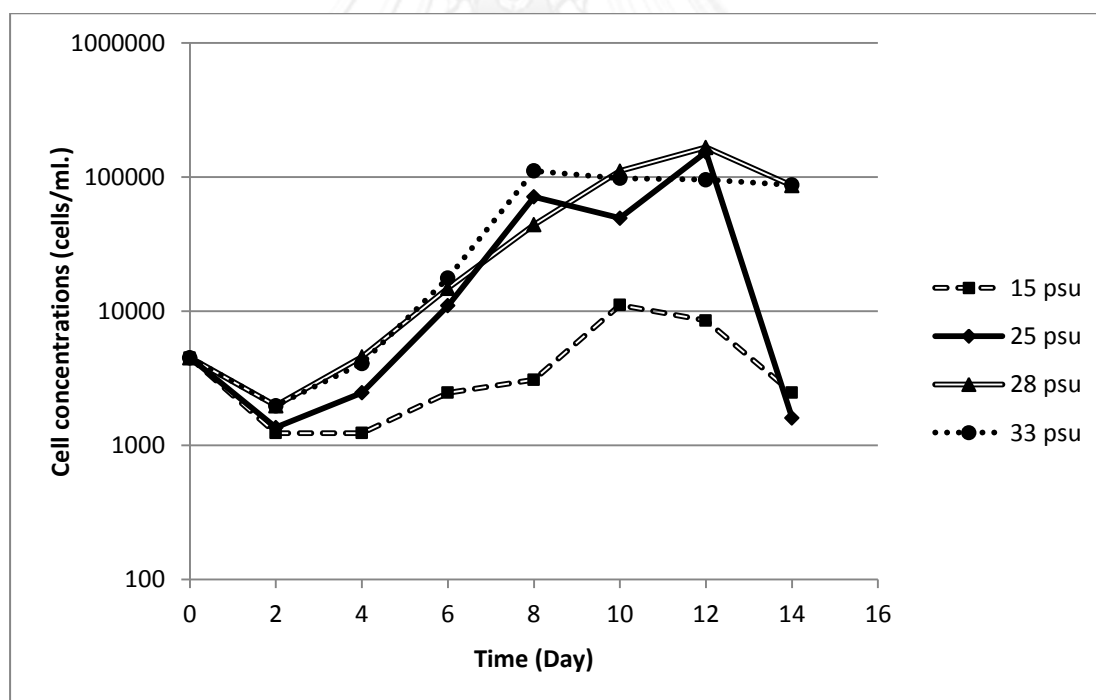
รูปที่ 12 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ที่ทุกระดับความเค็ม ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 6-12 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 14) (รูปที่ 13)



รูปที่ 13 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

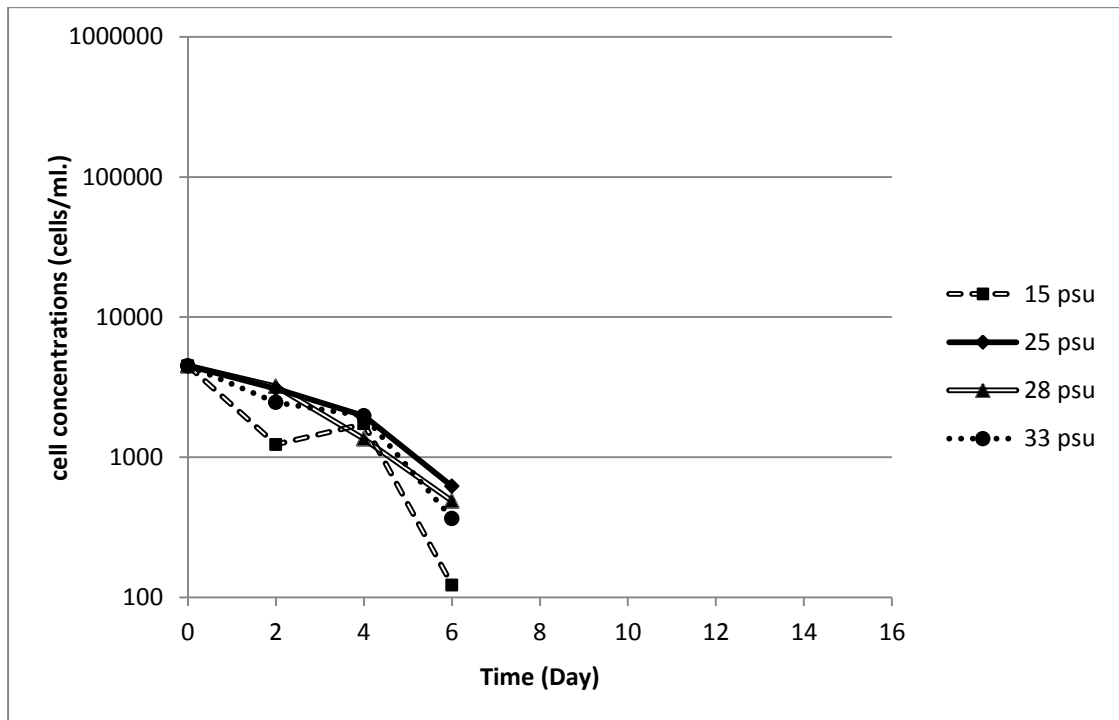
zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเค็ม 15 psu ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 4 วันแรกของการทดลอง ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 6-8 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 14) ที่ระดับความเค็ม 25 psu ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 6-8 ของการทดลอง และลดลงในวันที่ 10 ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันสุดท้ายของการทดลอง ที่ระดับความเค็ม 28 psu ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 6-12 ของการทดลอง และลดลงอย่างรวดเร็วในวันสุดท้ายของการทดลอง ที่ระดับความเค็ม 33 psu ความหนาแน่นเซลล์ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง ความหนาแน่นเซลล์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 ของการทดลอง หลังจากนั้นความหนาแน่นเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 6-12 ของการทดลอง และค่อยๆลดลงในวันที่ 10 ของการทดลอง (รูปที่ 14)



รูปที่ 14 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

## 2.2. ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

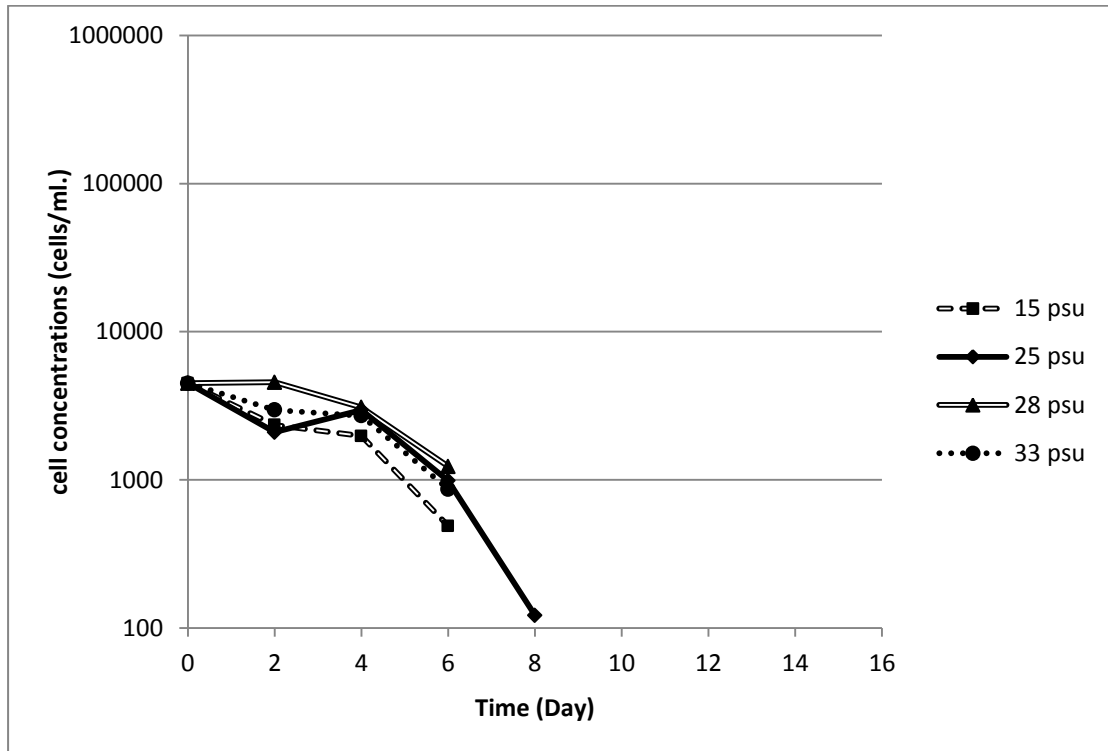
zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสในทุกระดับความเค็ม ความหนาแน่นเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เซลล์ส่วนใหญ่ตายในวันที่ 8 ของการทดลอง (รูปที่ 15)



รูปที่ 15 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

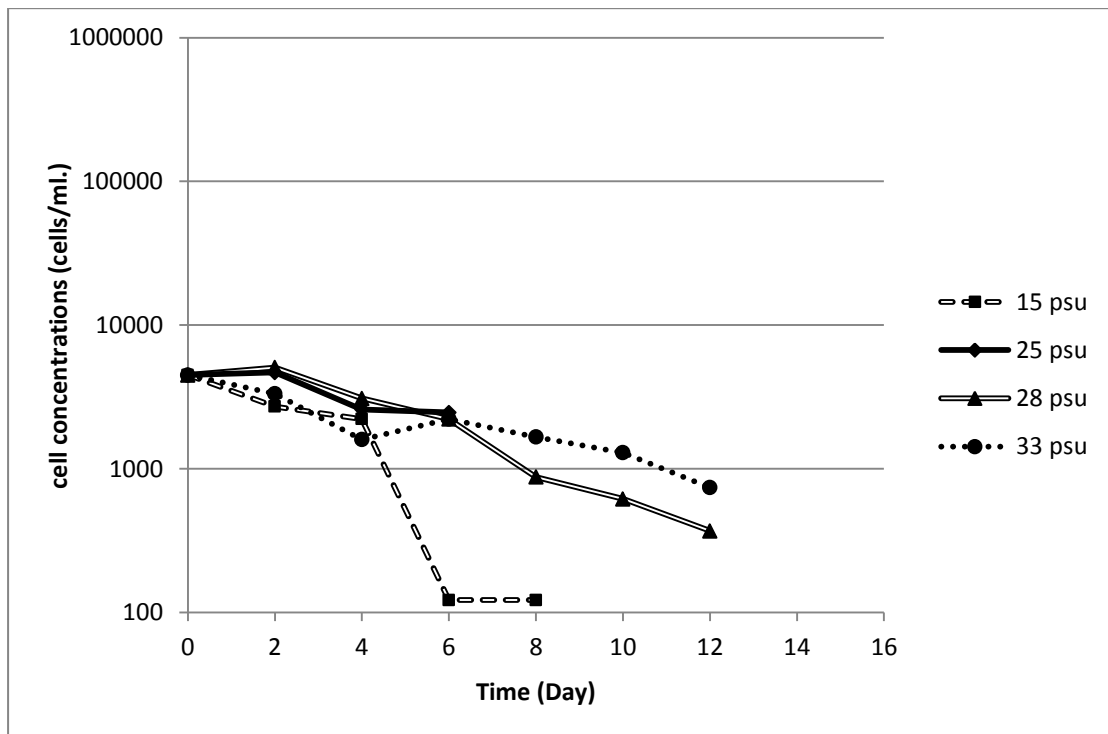


zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เซลล์ส่วนใหญ่ตายในวันที่ 8 ของการทดลอง (รูปที่ 16)



รูปที่ 16 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

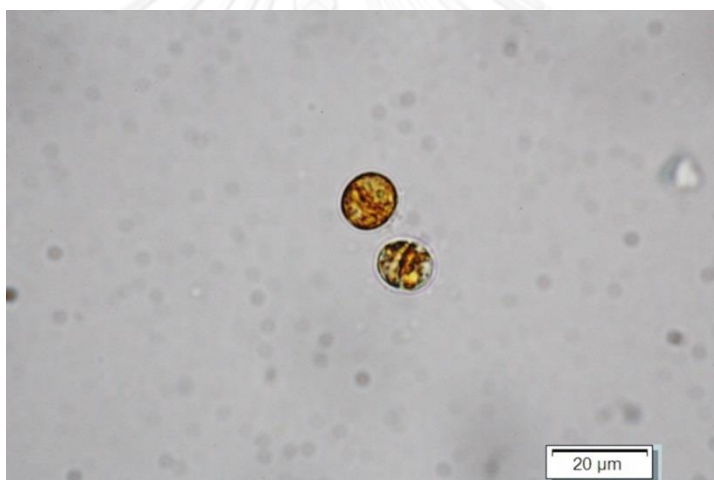
zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ระดับความเค็ม 15 psu เซลล์ส่วนใหญ่ตายในวันที่ 10 ของการทดลอง ที่ระดับความเค็ม 25 psu เซลล์ส่วนใหญ่ตายในวันที่ 8 ของการทดลอง แต่ที่ระดับความเค็มสูง (28 และ 33 psu) เซลล์ส่วนใหญ่ตายในวันที่ 14 ซึ่งเป็นเวลาสิ้นสุดทดลอง (รูปที่ 17)



รูปที่ 17 ความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

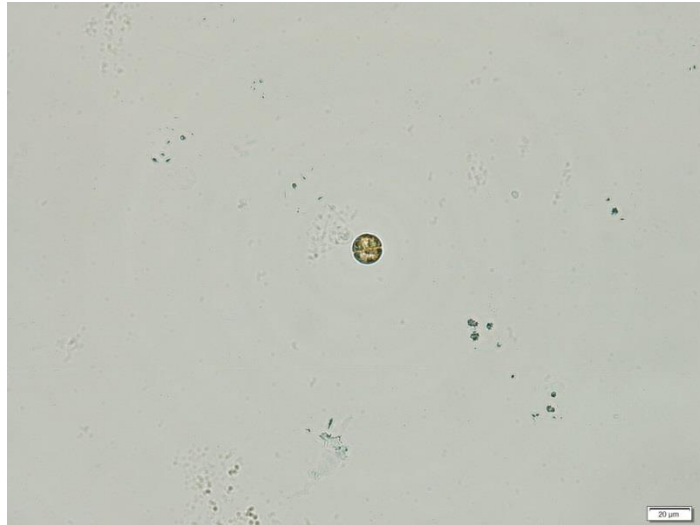
### 3. ลักษณะของเซลล์

เซลล์ของ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิปกติ 27 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ไมครอน มีสีน้ำตาลเหลืองและพบรงควัตถุสีเขียวภายในเซลล์จำนวนมาก ซึ่งเป็นลักษณะของเซลล์ปกติที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ (รูปที่ 18-20) ในขณะที่เซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส) ในทุกระดับความเค็ม เซลล์ zooxanthellae มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับเซลล์ปกติ แต่มีสีจางลงและสูญเสีย cytoplasmic organelles อย่างชัดเจน (รูปที่ 21-23) แม้ว่าเซลล์ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส) ในทุกระดับความเค็ม จะมีสีจางและสูญเสีย cytoplasmic organelles อย่างชัดเจน แต่หากเปรียบเทียบลักษณะของเซลล์ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ในแต่ละระดับความเค็ม พบว่าที่ระดับความเค็มต่ำที่สุด (15 psu) เซลล์จะมีสีจางและสูญเสีย cytoplasmic organelles มากกว่าเซลล์ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) (รูปที่ 24-25)

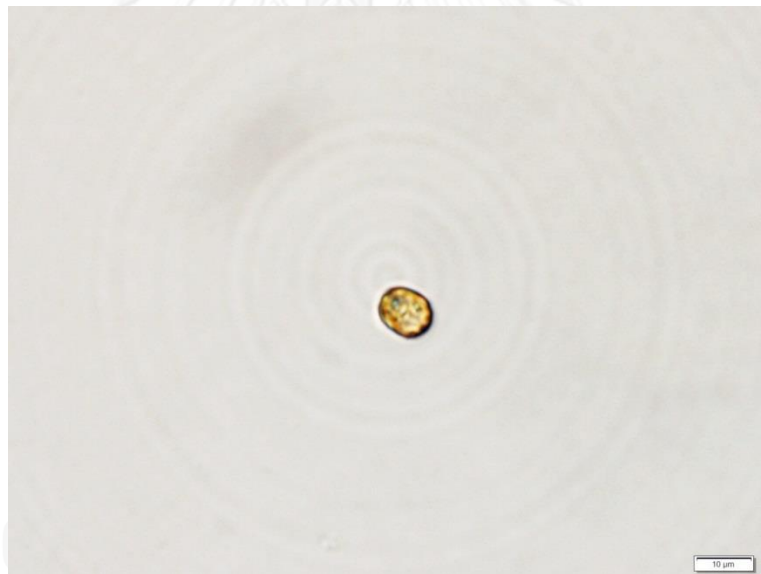


รูปที่ 18 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิควบคุม (27 องศาเซลเซียส)

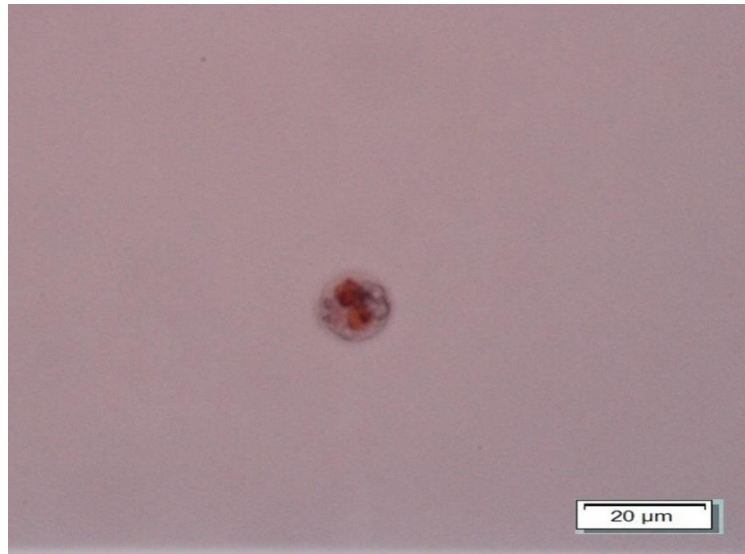
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 19 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิต่ำ (27 องศาเซลเซียส)



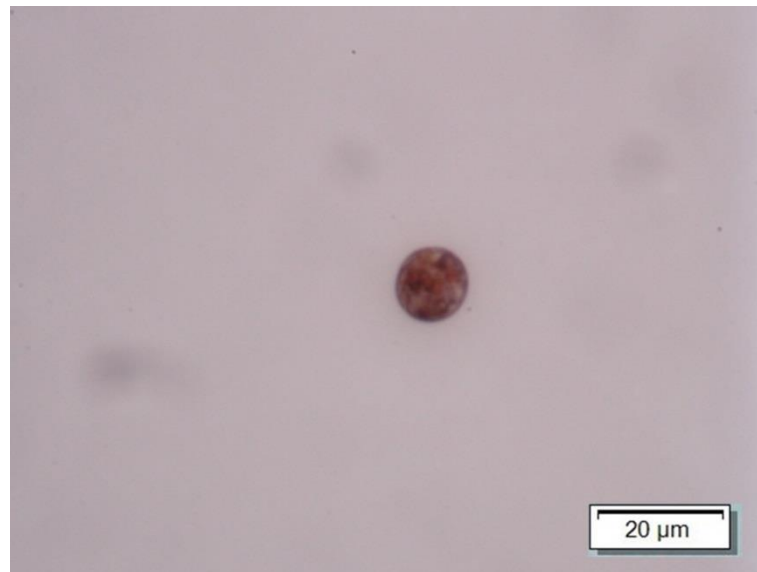
รูปที่ 20 zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิต่ำ (27 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 21 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites*  
ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส)



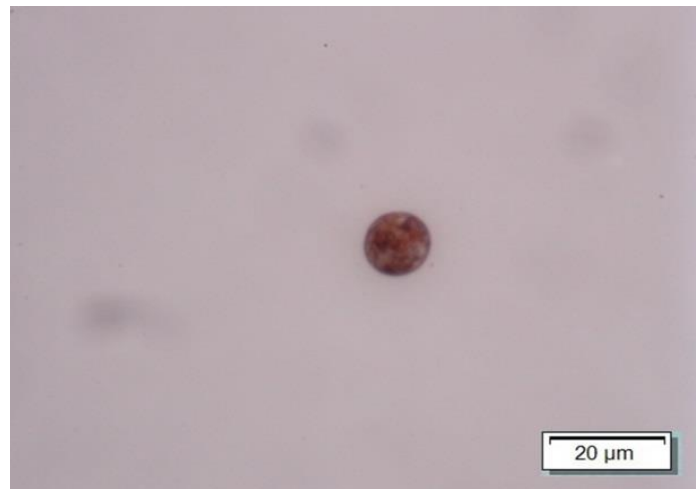
รูปที่ 22 zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis*  
ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 23 zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่งเพาะเลี้ยงที่ อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 24 เซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ภายใต้อัตราความเค็ม 15 psu



รูปที่ 25 เซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส  
ภายใต้ระดับความเค็ม 33 psu

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการศึกษา

#### 1. ลักษณะการเจริญเติบโต (growth characteristic) ของ zooxanthellae ในสภาวะปกติ

ลักษณะการเจริญเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites*, ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และ ดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. (ภายใต้สภาวะปกติที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ที่ระดับอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ ช่วงมืด : สว่าง 12 : 12 ชั่วโมง) มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน คือ ในช่วง 2 วันแรก เซลล์ลดจำนวนลงเล็กน้อย หลังจากนั้นเซลล์จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 2 - 6 หลังจากนั้นอัตราการเติบโตจะค่อยๆ ลดลงก่อนที่จะลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยมีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.334, 0.397 และ 0.428 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ซึ่งถูกแยกจากพรอมทะเล *Zoanthus sociatus* และ ถูกเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ภายใต้อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ช่วงมืด : สว่าง 12 : 12 ชั่วโมง ที่มีค่าเท่ากับ 0.35 (Domotor 1984)

อย่างไรก็ตามแม้ว่าลักษณะการเจริญเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites*, ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และ ดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. จะมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน แต่อัตราการเติบโตจำเพาะแตกต่างกัน โดย zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเลมีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ในแต่ละระดับอุณหภูมิและความเค็มมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดของผู้ให้อาศัยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยแต่ละชนิดนั้นมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิและความเค็มต่างกัน ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าความแตกต่างในอัตราการเจริญเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยทั้ง 3 ชนิด ในแต่ละระดับอุณหภูมิ อาจเกิดจากความแตกต่างกันในระดับพันธุกรรม ดังเช่นการศึกษาของ (Rowan 1998) และ (Iglesias-Prieto 2004) ซึ่งได้รายงานไว้ว่า zooxanthellae มีความหลากหลายแตกต่างกันไปตามชนิดของผู้ให้อาศัยและสถานที่และตอบสนองต่อปัจจัยทางกายภาพแตกต่างกัน

#### 2. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเจริญเติบโตและลักษณะเซลล์ของ zooxanthellae

##### 2.1. ช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ zooxanthellae

จากผลการศึกษาที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจากอุณหภูมิปกติ 27 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียส zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. มีค่าอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ยกเว้นที่ระดับความเค็ม 15 psu ทั้งนี้เนื่องจากระดับความเค็ม 25, 28 และ 33 psu รวมถึงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับช่วงอุณหภูมิและความเค็มของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างซึ่งมีค่าระหว่าง 26-30 องศาเซลเซียส และ 30-33 psu ตามลำดับ นอกจากนี้ยังบ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



ในช่วง 27 – 30 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ zooxanthellae ที่แยกได้จากผู้ให้อาศัยทั้ง 2 ชนิด เจริญเติบโตได้ดีขึ้นโดยไม่ขึ้นกับระดับความเค็มของน้ำ (ในช่วง 15 – 33 psu) อย่างไรก็ตามเมื่อ zooxanthellae อยู่ในภาวะที่อุณหภูมิสูง (30 องศาเซลเซียส) และระดับความเค็มต่ำ (15 psu) มีผลทำให้ zooxanthellae มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้คล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ (Sakami 2000) ซึ่งพบว่าการเติบโตของ zooxanthellae จากปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ในช่วงระดับความเค็ม 15 - 20 psu มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหากอุณหภูมิ น้ำทะเลในขณะนั้นอยู่ในช่วงอุณหภูมิปกติ (28 - 32 องศาเซลเซียส) แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างผิดปกติ (36 องศาเซลเซียส) อัตราการเติบโตของ zooxanthellae จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นหลัก และความเค็มต่ำเป็นปัจจัยเสริม

มีรายงานการศึกษาจำนวนมากที่กล่าวถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลดลงของความเค็มต่อผู้ให้อาศัยและ zooxanthellae เช่น ความเค็มของน้ำทะเลที่ต่ำจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ลดลง และพบว่าเมื่อดอกไม้ทะเล *Anthopleura elegantissima* อยู่ในน้ำทะเลที่มีความเค็มต่ำเป็นระยะเวลาานาน zooxanthellae จะหลุดออกจากดอกไม้ทะเลมากขึ้น (Engebretson 1994); (Sakami 2000) และพบว่า zooxanthellae ที่อาศัยในปะการัง *Stylophora pistillata* จะอ่อนไหวต่อระดับความเค็มที่เปลี่ยนแปลงไปแม้ในช่วงแคบโดยระดับความเค็มที่ลดลงมีผลมากกว่าระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น โดยมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (Ferrier-Pages 1999)

สำหรับการทดลองครั้งนี้ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* มีอัตราการเติบโตต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ให้อาศัยทั้ง 2 ชนิดข้างต้น ทั้งในระดับอุณหภูมิ 27 และ 30 องศาเซลเซียส ในปัจจุบันมีการศึกษาค่อนข้างน้อยที่กล่าวถึงการศึกษา zooxanthellae กับปะการัง *Fungia fungites* อย่างไรก็ตามจากข้อเท็จจริงที่สังเกตได้จากการเก็บตัวอย่างพบว่าปะการังดอกเห็ดที่ถูกใช้ในการศึกษาครั้งนี้อาศัยอยู่ในระดับที่ลึกกว่าปะการังดอกกะหล่ำและดอกไม้ทะเล ดังนั้นอัตราการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างต่ำของ zooxanthellae ที่ถูกแยกออกมาจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* อาจมีความเกี่ยวข้องกับนิเวศน์วิทยาการอยู่อาศัยปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ซึ่งอาศัยในระดับที่ลึกกว่าปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* และดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ซึ่ง (Iglesias-Prieto 2004) ได้กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วผู้ให้อาศัยรวมถึง zooxanthellae ที่อาศัยอยู่ในบริเวณน้ำตื้นจะสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าผู้ให้อาศัยที่อาศัยอยู่ในบริเวณน้ำทะเลในระดับที่ลึกลงไป

## 2.2. ผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างผิดปกติต่อการเติบโตของ zooxanthellae

ที่ระดับอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ไม่มี zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยชนิดใดเลยที่สามารถเจริญเติบโตได้ แม้ว่าจะอยู่ภายใต้ระดับความเค็มปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ระดับอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่ามีผลทำให้ zooxanthellae ตาย นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้รูปร่างลักษณะเซลล์ของ zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยแต่ละชนิดมีความแตกต่างไปจากอุณหภูมิ 27 และ 30 องศาเซลเซียสอย่างเห็นได้ชัด โดยเซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิปกติ (27 องศาเซลเซียส) จะมีลักษณะกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10

ไมครอน มีสีน้ำตาลเหลืองและพบรงควัตถุสีเขียวภายในเซลล์ จำนวนมาก ซึ่งเป็นลักษณะของเซลล์ปกติที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ในขณะที่เซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส) ในทุกระดับความเค็ม เซลล์ zooxanthellae แม้ว่า จะยังคงมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับเซลล์ปกติ แต่มีสีจางลงและสูญเสีย cytoplasmic organelles อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเค็มต่ำที่สุด (15 psu) เซลล์จะมีสีจางและสูญเสีย cytoplasmic organelles มากกว่าเซลล์ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) อย่างชัดเจน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิที่สูงผิดปกติมีผลทำให้ zooxanthellae สูญเสयरรงควัตถุไปและผลกระทบดังกล่าวจะยิ่งรุนแรงขึ้นเมื่อ zooxanthellae อยู่ในระดับความเค็มต่ำ ซึ่งผลการศึกษาค้นคว้านี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ (Warner 1996) ที่พบว่าในสภาวะอุณหภูมิสูงและความเค็มต่ำจะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์ลดลง ทำให้เซลล์มีสีซีดจาง และส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ลดลง (Ferrier-Pages 1999) และการศึกษาของ (Rodolfo-Metalpa 2006) ซึ่งพบว่ารงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในเซลล์ zooxanthellae จากปะการัง *Cladocora caespitosa* และ *Oculina patagonica* ที่เก็บจากอ่าว Fiascherio ประเทศอิตาลี ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตามนอกจากรายงานการศึกษาที่กล่าวถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ปริมาณรงควัตถุใน zooxanthellae ลดลงแล้ว ยังมีรายงานการศึกษาอื่นๆ ที่กล่าวถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีระและความสัมพันธ์ระหว่าง zooxanthellae กับผู้ให้อาศัยเช่น (Warner 1996) และ (Rodolfo-Metalpa 2006) พบว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นเซลล์, ประสิทธิภาพและอัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ลดต่ำลง และทำให้การเผาผลาญออกซิเจนของ zooxanthellae ผิดปกติไป รวมถึงทำให้อัตราการหลุดออกจากผู้ให้อาศัยจะเพิ่มขึ้นมากด้วย (Hoegh-Guldberg 1989) การศึกษาของ (Sakami 2000) และ (Warner 1996) ซึ่งพบว่า zooxanthellae ที่แยกจากปะการัง *Agaricia lamarki*, *Agaricia agaricites*, *Pocillopora damicornis* และ *Montipora verrucosa* อ่อนไหวต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยทำให้ความทนทานของ zooxanthellae ลดต่ำลง และการศึกษาของ (Saunders 1997) ที่พบว่าอุณหภูมิจะส่งผลต่อความหนาแน่นของ zooxanthellae ที่แยกออกจากหนวด (tentacle) ของดอกไม้ทะเล *Anthopleura elegantissima* อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลมากกว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น แสง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำทะเลเพิ่มขึ้นจากปกติ 27 องศาเซลเซียส เป็น 32 องศาเซลเซียส zooxanthellae จะมีสีจางลงและมีจำนวนต่อพื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และหากเพิ่มอุณหภูมิเป็น 34 องศาเซลเซียส ปะการังจะตายภายใน 8 ชั่วโมง (Hoegh-Guldberg 1989) ปะการัง *Acropora millepora* บริเวณชายฝั่งออสเตรเลียจะเกิดการฟอกขาวและตายกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะมี zooxanthellae clade D ซึ่งถือว่าเป็น clade ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมมากที่สุดก็ตาม เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ในปะการัง *Agaricia agaricites* และ *Agaricia lamarki* (Warner 1996) (ซึ่งวัดโดย Pulse-amplitude modulation fluorometry ในช่วง 30 – 36 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้มีหลายการศึกษาที่ศึกษาความผันผวนของความหนาแน่นเซลล์ zooxanthellae ในรอบปี โดยมีรายงานทั้ง zooxanthellae ในเนื้อเยื่อ

ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* บริเวณอ่าว Kaneohe ประเทศสหรัฐอเมริกา (Stimson 1997) zooxanthellae ในปะการังเขากวาง *Acropora millepora* ที่ Great Barrier reef ประเทศออสเตรเลีย (Pillay 2005) zooxanthellae ที่แยกจากปะการัง *Coeloseris mayeri*, *Goniastrea retiformis*, *Goniastrea asperaa* และ *Porites lutea* บริเวณจังหวัดภูเก็ต (Brown 1996) โดยพบว่าในฤดูร้อน จำนวน zooxanthellae และปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae น้อยกว่าใน ฤดูหนาวหรือฤดูฝน เนื่องจากในฤดูร้อนมีอุณหภูมิน้ำทะเลที่สูงกว่า ฤดูหนาวและฤดูฝน ทั้งนี้อุณหภูมิสูงที่เริ่มส่งผลต่อ ความหนาแน่นและอัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae จะแตกต่างกันไปตามชนิดของ ผู้ให้อาศัยและสถานที่เก็บตัวอย่างผู้ให้อาศัย (ตารางที่ 3)

นอกจากนี้ผลการศึกษาค้างนี้ยังชี้ให้เห็นว่า zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. แสดงความทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มได้มากกว่า zooxanthellae ที่แยกจากปะการังทั้ง 2 ชนิด อย่างชัดเจน โดยที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. มีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 12 วัน ในขณะที่ zooxanthellae ที่แยกจากปะการัง 2 ชนิด มีชีวิตอยู่ได้เพียงประมาณ 8 วัน ทั้งนี้เนื่องจากถิ่นอาศัยของดอกไม้ทะเล ซึ่งมีการกระจายตัวกว้าง อาศัยอยู่ในเขตน้ำขึ้นน้ำลง หรือเกาะอยู่ตามโขดหินตามชายฝั่ง ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี (Muller-Parker 2001)

ตารางที่ 3 อูณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส) ที่เริ่มส่งผลต่อความหนาแน่นและอัตราการสังเคราะห์แสงของ zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยชนิดต่างๆ

อูณหภูมิต่ำที่เริ่มส่งผลต่อ zooxanthellae (องศาเซลเซียส)	ชนิดของผู้ให้อาศัย	สถานที่เก็บตัวอย่างผู้ให้อาศัย	เอกสารอ้างอิง
> 30	ปะการัง <i>Stylophora pistillata</i> และ <i>Seriatopora hystrix</i>	ขอบของ Lizard Island lagoon	(Hoegh-Guldberg 1989)
32	ปะการัง <i>Agaricia lamarki</i> และ <i>Agaricia agaricites</i>	อ่าว Discovery ประเทศจาไมก้า	(Warner 1996)
32	ปะการัง <i>Pocillopora damicornis</i> และ <i>Montipora verrucosa</i>	ฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา	(Sakami 2000)
32	ปะการัง <i>Acropora millepora</i>	ชายฝั่งออสเตรเลีย	(Berkelmans 2006)
32	ปะการัง <i>Cladocora caespitosa</i> และ <i>Oculina patagonica</i>	อ่าว Fiascherio ประเทศอิตาลี	(Rodolfo-Metalpa 2006)
28	ดอกไม้ทะเล <i>Anthopleura elegantissima</i>	เกาะ Whidbey ทางตอนเหนือของรัฐวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา	(Muller-Parker 2001)

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 1. ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae

ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae มีค่าสูงที่ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) มีค่าสูงที่สุดเมื่ออยู่ภายใต้ระดับความเค็มควบคุม (28 psu) และมีค่าต่ำที่สุดเมื่ออยู่ภายใต้ระดับความเค็มต่ำที่สุดในการทดลอง (15 psu) ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยแต่ละชนิด (ปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites*, ปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis*, ดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp.) แตกต่างกันไปในแต่ละอุณหภูมิและความเค็ม แต่ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล (*Epiactis* sp.) มีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะสูงในทุกระดับความเค็ม ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของ zooxanthellae ในแต่ละระดับอุณหภูมิและความเค็มมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดของผู้ให้อาศัยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ไม่มี zooxanthellae ที่แยกจากผู้ให้อาศัยชนิดใดเลย ที่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่ zooxanthellae ที่แยกจากดอกไม้ทะเล มีความทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มมากกว่า zooxanthellae ที่แยกจากปะการัง 2 ชนิด เนื่องจาก zooxanthellae มีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 12 วัน ในขณะที่ zooxanthellae ที่แยกจากปะการัง 2 ชนิด มีชีวิตอยู่ได้เพียงประมาณ 8 วัน

#### 2. ลักษณะเซลล์ zooxanthellae

เซลล์ของ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิปกติ 27 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ไมครอน มีสีน้ำตาลเหลืองและพบรงควัตถุสีเขียวภายในเซลล์จำนวนมาก ซึ่งเป็นลักษณะของเซลล์ปกติที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ในขณะที่เซลล์ zooxanthellae ซึ่งเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูง (33 องศาเซลเซียส) ในทุกระดับความเค็ม เซลล์ zooxanthellae แม้ว่าจะยังคงมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับเซลล์ปกติ แต่มีสีจางลงและสูญเสีย cytoplasmic organelles อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเค็มต่ำที่สุด (15 psu) เซลล์จะมีสีจางและสูญเสีย cytoplasmic organelles มากกว่าเซลล์ zooxanthellae ที่อยู่ภายใต้ระดับความเค็มสูง (25, 28 และ 33 psu) อย่างชัดเจน

### ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางเพื่อคัดเลือก zooxanthellae ที่สามารถทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มในช่วงกว้าง มาใช้ในการฟื้นตัวหรือลดผลกระทบของปะการังจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวในอนาคต แต่จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมทั้งเพิ่มระดับของอุณหภูมิและความเค็ม เพื่อให้ทราบจุดเริ่มต้นของอุณหภูมิและความเค็มที่เริ่มส่งผลต่อ zooxanthellae ที่แท้จริง ทำการศึกษา zooxanthellae จากผู้ให้อาศัยชนิดอื่นๆให้หลากหลายขึ้น และศึกษาในระดับพันธุกรรมต่อไป



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## รายการอ้างอิง

- Baker, A. (2003). "Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: diversity, ecology, and biogeography of Symbiodinium." Annual Review of Ecology and Systematics **34**: 661-689.
- Baker, A., and Romansky, AM. (2007). "Multiple symbiotic partnerships are common in scleractinian corals, but not in octocorals: comment on Goulet." Marine Ecology Progress Series **335**: 237-242.
- Berkelmans, R., and Van open, M. (2006). "The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals : a “nugget of hope” for coral reefs in an era of climate change. ." The Royal Society: 2305-2312.
- Brown, B. E., Dunne, R.P., and Chansang, H. (1996). "Coral bleaching relative to elevated seawater temperature in the Andaman Sea (Indean Ocean) over the last 50 years." Coral Reefs **15**: 151-152.
- Chavanich, S., Viyakarn, V., Loyjiw, T., Pattaratamrong, P., and Chankong, A. (2009). "Mass bleaching of soft coral, *Sarcophyton* spp. in Thailand and the role of temperature and salinity stress." Oxford Journals: 1515-1519.
- Chen, M., Hong, MC., Huang, YS., Liu, MC., Cheng, YM., and Fang, LS. (2005). "ApRab11, a cldinarian homologue of the recycling regulatory protein Rab11, is involved in the establishment and maintenance of the Aiptasia-Symbiodinium endosymbiosis." Biochemical and Biophysical Research Communications **338**: 1607-1616.
- Clode, P., Saunders, M., Maker, G., Ludwig, M., and Atkins, CA. (2009). "Uric acid deposits in symbiotic marine algae. ." Plant, Cell & Environment **32**: 170-177.
- Coffroth, M., and Santos, SR. (2005). "Genetic diversity of symbiotic dinoflagellates in the genus *Symbiodinium*." Protist **156**: 19-34.

Domotor, S. L., and D'Elia, C.F. (1984). "Nutrient uptake kinetics and growth of zooxanthellae maintained in laboratory culture." Marine Biology **80**: 93-101.

Drew, E. A. (1972). "The biology and physiology of alga-invertebrate symbioses.II. The density of symbiotic algae cells in number of hermatypic hard corals and alcyonarians from various depths." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **9**: 71-75.

Dubinsky, Z., and Jokiel, PL. (1994). "Ratio of energy and nutrient fluxes regulates symbiosis between zooxanthellae and corals. ." Pacific Science **48**: 313-324.

Engebretson, H., and Martin, KLM. (1994). "Effects of decreased salinity on expulsion of zooxanthellae in the symbiotic sea anemone *Anthopleura elegantissima*. ." Pacific Science **48**: 446-457.

Fagoonee, I., Wilson, H.B., Hassell, M.P., and Turner, J.R. (1999). "The dynamics of zooxanthellae populations : A long term study in the field." Science **283**: 843.

Ferrier-Pages, C., Gattuso, J-P., and Jaubert, J. (1999). "Effects of small variations in salinity on the rates of photosynthesis and respiration of the zooxanthellae coral *Stylophora pistillata*." Marine Ecology Progress Series **181**: 309-314.

Franklin, D., Hoegh-Guldberg, P., Jones, RJ., and Berges JA. (2004). "Cell death and degeneration in the symbiotic dinoflagellates of the coral *Stylophora pistillata* during bleaching." Marine Ecology Progress Series **272**: 117-130.

Freudenthal, H. (1962). "*Symbiodinium* gen. nov. and *Symbiodinium microadriaticum* sp. nov., a zooxanthellae, a taxonomy, life cycle, and morphology." Journal of Protozoology **9**: 45-52.



Gates, R. D., Bagiidasarian, G., and Muscatine, L. (1992). "Temperature stress causes host cells detachment in symbiotic cnidarians : Implications for coral bleaching. ." The Biological Bulletin **182**: 324-332.

Hoegh-Guldberg, O., and Smith, G. (1989). "The effect of sudden changes in temperature, light, and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef corals *Stylophora pistillata* and *Seriatopora hystrix*. ." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **129**: 279-303.

Houlbreque, F., Tambutte, E., Allemand, D., and Ferrier-Pages, C. (2004). "Interactions between zooplankton feeding, photosynthesis and skeletal growth in the scleractinian coral *Stylophora pistillata*." The Journal of Experimental Biology **207**: 1461-1469.

Iglesias-Prieto, R., Beltran, V.H., LaJeunesse, T.C., Reyes-Bonilla, H. and Thome, P.E. (2004). "Different algal symbionts explain the vertical distribution of dominant reef corals in the eastern Pacific. ." The Royal Society: 1757-1763.

Jones, R., Hoegh-Guldberg, O., Larkum, AWD., and Schreiber, U. (1998). "Temperature-induced bleaching of corals begins with impairment of the CO<sub>2</sub> fixation mechanism in zooxanthellae." Plant, Cell & Environment **21**: 1219-1230.

LaJeunesse, T. (2005). "Species radiations of symbiotic dinoflagellates in the Atlantic and Indo-Pacific since the Miocene-pliocene transition. ." Journal of Molecular Biology **141**: 570-581.

LaJeunesse, T., Bonilla, HR., Warner, ME., Wills M., Schmidt, GW., and Fitt WK. (2008). "Specificity and salinity in high latitude eastern Pacific coral-algal symbioses. ." Association for the Sciences of Limnology and Oceanography **53**: 719-727.

Muller-Parker, G., and Davy, S.K. (2001). "Temperate and tropical algal-sea anemone symbioses." Invertebrate Biology **120**: 104-123.

Muscatine, L., and Porter, J. W. (1977). "Reef corals-mutualistic symbioses adapted to nutrient-poor environments." Bioscience **27**: 454-460.

Muscatine, L., Ferrier-Pages, C., Blackburn, A., Gates, RD., Baghdasarian, G., and Allemand, D. (1998). "Cell specific density of symbiotic dinoflagellates in tropical anthozoans." Coral Reefs **17**: 329-337.

Pillay, R. M., Willis, B., and Terashima, H. (2005). "Trends in the density of zooxanthellae in *Acropora millepora* at the Palm Island Group, Great barrier reef, Australia. ." Symbiosis **38**: 209-226.

Podesta, G. P., and Glynn, P.W. (1997). "Sea surface temperature variability in Panama and Galapagos : Extreme temperature causing coral bleaching. ." Journal of Geophysical Research: Oceans **102**: 15749-15759.

Rodolfo-Metalpa, R., and others, (2006). "Response of zooxanthellae in symbiosis with the Mediterranean corals *Cladocora caespitosa* and *Oculina patagonica* to elevated temperatures." Marine Biology **150**: 45-55.

Rodriguez-Lanetty, M., Loh, W., Carter, D., and Hoegh-Guldberg, O. (2001). "Latitudinal variability in the symbiont specificity within the widespread scleractinian coral *Plesiastrea versipora*." Marine Biology **138**: 1175-1181.

Rowan, R. (1998). "Diversity and ecology of zooxanthellae on coral reefs." Journal of Phycology **34**: 407-417.

Sakami, T. (2000). "Effects of temperature, irradiance, salinity and inorganic nitrogen concentration on coral zooxanthellae in culture. ." Fisheries Science **66**: 1006-1013.

Saunders, B., and Muller-Parker, G. (1997). "The effects of temperature and light on two algal populations in the temperate sea anemone *Anthopleura elegantissima*." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **211**: 213-224.

Stambler, N. (2011). "Zooxanthellae: the yellow symbionts inside animals." Coral Reefs: An Ecosystem in Transition: 87-106.

Stimson, J. (1997). "The annual cycle of density of zooxanthellae in the tissues of field and laboratory held *Pocillopora damicornis*." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **214**: 35-48.

Strychar, K., and Sammarco PW. (2009). "Exaptation in corals to high seawater temperatures: Low concentrations of apoptotic and necrotic cells in host coral tissue under bleaching conditions." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **369**: 31-42.

Toller, W., Rowan, R., and Knowlton, N. (2001). "Repopulation of zooxanthellae in the Caribbean corals *Montastraea annularis* and *M. faveolata* following experimental and disease-associated bleaching." The Biological Bulletin **201**: 360-373.

Trench, R. K. (1979). "The cell biology of plant-animal symbiosis." Plant Physiology **30**: 485-531.

Trench, R. K. (1987). "Dinoflagellate in non parasitic symbiosis In F.J.R., T. (ed.), The biology of dinoflagellate botanical monographs." Blackwell Scientific: 531-570.

Venn, A. A., Loram, J.E., and Douglas, A.E. (2008). "Photosynthetic symbioses in animals." Journal of Experimental Botany **59**: 1069-1080.

Wakefield, T., Farmer, MA., and Kempf SC. (2000). "Revised description of the fine structure of in situ "Zooxanthellae" genus *Symbiodinium*." The Biological Bulletin **199**: 76-84.

Wang, L., Liu YH., Ju YM., Hsiao YY., Fang LS., and Chen CS. (2008). "Cell cycle propagation is driven by light-dark stimulation in a cultured symbiotic dinoflagellate isolated from corals." Coral Reefs **27**: 823-835.

Warner, M., Fitt, W., and Schmidt, G. (1996). "The effects of elevated temperature on the photosynthetic efficiency of zooxanthellae in hospite from four different species of reef coral : a novel approach." Plant, Cell & Environment **19**: 291-299.

Wilkerson, F., Kobayashi, D., and Muscatine, L. (1988). "Mitotic index and size of symbiotic algae in Caribbean reef corals." Coral Reefs **7**: 29-36.

ธรรมศักดิ์ ยี่มิน และคณะ (2554). Climate change impacts and implications. โครงการการประมวลสถานการณ์และองค์ความรู้ด้านผลกระทบ การฟื้นฟู และการจัดการแนวปะการังจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว.

นลินี ทองแถม และนิพนธ์ พงศ์สุวรรณ (2553). บันทึกจากทะเล 2554. ภูเก็ต, สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน.

รณวัน บุญประกอบ, ป. ส., และ สุวิชา ใจเปี่ยม, (2553). ผลของปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวต่อแนวปะการังจังหวัดตราด. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่39: 97-103.

อุกกฤต สตมภ์ินทร์ (2536). การตอบสนองของปะการังและแนวปะการังต่อเหตุการณ์ฟอกขาวของแนวปะการังปี 2534 ในทะเลอันดามัน ประเทศไทย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอก  
เห็ด *Fungia fungites* ในสภาวะปกติ

Day	R1	R2	R3
0	4500.00	4500.00	4500.00
2	740.74	740.74	1111.11
4	4074.07	2592.59	3333.33
6	9259.26	6666.67	7407.41
8	1481.48	4814.81	11851.85
10	39259.26	21111.11	24444.44
12	31851.85	24074.07	8518.52
14	20370.37	4444.44	12963.00

ตารางที่ 5 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอก  
กะหล่ำ *Pocillopora damicornis* ในสภาวะปกติ

Day	R1	R2	R3
0	4500.00	4500.00	4500.00
2	2222.22	4074.07	2962.96
4	8518.52	6666.67	10000.00
6	28888.89	34444.45	22222.22
8	30000.00	23703.70	23703.70
10	78518.52	34444.44	78148.15
12	71481.48	126296.30	66296.30
14	23703.70	34814.81	44444.44

ตารางที่ 6 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล *Epiactis* sp. ในสภาวะปกติ

Day	R1	R2	R3
0	4500.00	4500.00	4500.00
2	2962.96	1481.48	2222.22
4	7777.78	10000.00	10740.74
6	25555.56	25555.56	28888.89
8	25185.19	21481.48	24444.44
10	57407.41	74444.44	66666.67
12	292222.22	318888.89	261111.11
14	134814.81	181851.85	278148.15

ตารางที่ 7 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia fungites* ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
2	6666.7	3333.3	1851.9	1851.9	1481.5	1111.1	740.7	740.7	740.7	3703.7	1481.9	0
4	4074.1	3703.1	2222.2	4814.8	1851.9	6666.7	4074.1	2592.6	3333.3	3703.7	2592.6	1481.5
6	2963.0	2592.6	7037.0	11111.1	7407.4	8518.5	9259.3	6666.7	7407.4	6296.3	2592.6	6296.3
8	6296.3	2592.6	6296.3	9629.6	8518.5	10000.0	1481.5	4814.8	11851.9	5555.6	13703.7	8888.9
10	6111.1	2777.8	1111.1	22592.6	16666.7	17777.8	39259.3	21111.1	24444.4	31851	20185.2	8518.52
12	1481.5	2592.6	2592.6	15555.6	23333.3	7777.8	31851.9	24074.1	8518.5	5555.6	13703.7	8888.9
14	2592.6	1851.9	1851.9	9629.6	15555.6	15555.6	20370.4	4444.4	12963.0	1111.1	2963.0	11851.9



ตารางที่ 8 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการัง  
 ดอกเห็ด *Fungia fungites* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
2	1851.85	4074.07	3703.70	3333.33	1111.11	2222.22	1481.48	2962.96	3703.70	1481.48	1111.11	1111.11
4	0	1851.85	740.74	2222.22	2222.22	2222.22	370.37	1111.11	1111.11	1851.85	1851.85	2222.22
6	1481.48	740.74	1111.11	2592.59	1111.11	1851.85	2222.22	4074.07	3703.7	4074.07	2592.59	1851.85
8	1851.85	4074.07	1481.48	8148.15	5555.56	4444.44	1851.85	7037.04	4444.44	4814.81	2592.60	1111.11
10	5555.56	3333.33	0	2962.96	4814.81	2592.59	7037.04	4814.81	5925.93	7777.78	7407.41	7407.41
12	2592.59	0	1481.48	2962.96	2222.22	3703.70	3333.33	2222.22	1851.85	6296.30	4074.07	5555.56
14	1481.48	0	1111.11	2592.59	1851.85	2962.96	1111.11	1111.11	1111.11	1481.48	1851.85	3703.70

ตารางที่ 9 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/mL.) ที่แยกจากปะการังดอกเห็ด *Fungia Fungites* ที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
2	740.74	740.74	2222.22	3703.70	2222.22	3333.33	4074.07	4074.07	1481.48	3703.7	1481.48	2222.22
4	740.74	1111.11	3333.33	2592.59	1851.85	1481.48	1851.86	2222.22	0	4444.44	1481.48	0
6	0	0	370.37	740.74	1111.11	0	370.37	1111.11	0	0	370.37	740.74
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 10 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ  
*Pocillopora damicornis* ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0
2	740.7	3333.3	1481.5	1111.1	1851.9	2592.6	1851.9	1111.1	2592.6	2222.2	4074.1	2963.0
4	3333.3	3703.7	5555.6	4074.1	5185.2	5185.2	4814.8	5185.2	4814.8	8518.5	6666.7	10000.0
6	8518.5	10000.0	8888.9	13333.3	19629.6	11111.1	31111.1	24444.4	12222.2	28888.9	34444.5	22222.2
8	14444.4	19259.3	22963.0	17777.8	12592.6	8518.5	33333.3	32222.2	22963.0	30000.0	23703.7	23703.7
10	76296.3	71851.9	81851.9	69259.3	67407.4	72592.6	67407.4	66296.3	60000.0	78518.5	34444.4	78148.1
12	47037.0	28518.5	35555.6	138518.5	127407.4	134814.8	125555.6	94814.8	121851.9	71481.5	126296.3	66296.3
14	24814.8	29629.6	40000.0	131111.1	127037.0	140000.0	72222.2	90000.0	83703.7	23703.7	34814.8	44444.4

ตารางที่ 11 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ  
*Pocillopora damicornis* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0
2	370.4	2963.0	740.7	740.7	740.7	3333.3	1481.5	1851.9	3333.3	1481.5	1111.1	3333.3
4	1851.9	2592.6	740.7	3333.3	5185.2	2222.2	2222.2	3703.7	740.7	1851.9	6666.7	9259.3
6	3703.7	2963.0	5925.9	11851.9	6666.7	6666.7	20000.0	20740.7	18888.9	12963.0	13333.3	34074.1
8	5185.2	3703.7	7777.8	22592.6	22963.0	22963.0	41851.9	49629.6	27777.8	37777.8	37037.0	76666.7
10	35555.6	56666.7	49629.6	76666.7	9629.6	101852.0	104074.1	119259.3	65925.9	74444.4	76296.3	216296.3
12	58888.9	42222.2	60740.7	149259.3	55185.2	162222.2	120000.0	142592.6	116296.3	78518.5	89259.3	100000.0
14	10370.4	7777.8	13333.3	71481.5	27777.8	80370.4	64444.4	74074.1	66666.7	80740.7	74444.4	53333.3

ตารางที่ 12 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำ  
*Pocillopora damicornis* ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
2	2222.22	2222.22	1481.48	1851.85	0	4444.44	4444.44	5185.19	4074.07	2222.22	3703.70	2962.96
4	740.74	1851.85	1851.85	3703.70	2592.60	2592.59	4444.44	3333.33	1481.48	2962.96	1111.11	4074.07
6	740.74	370.37	370.37	1481.48	1111.11	370.37	0	1481.48	2222.22	1111.11	370.37	1111.11
8	0	0	0	370.37	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 13 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล  
*Epiactis* sp. ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0
2	2592.6	1851.9	1481.5	2592.6	1481.5	2222.2	2963.0	1481.5	2222.2	3333.3	5925.9	4814.8
4	4444.4	6296.3	5185.2	7037.0	8518.5	10370.4	7777.8	10000.0	10740.7	8888.9	11111.1	5185.2
6	16666.7	17777.8	18148.2	37037.0	24074.1	36666.7	25555.6	25555.6	28888.9	22222.2	28888.9	27037.0
8	24074.1	19259.3	12963.0	31851.9	22592.6	30000.0	25185.2	21481.5	24444.4	57407.41	55925.9	32592.6
10	48888.9	40370.4	55555.6	84814.8	114444.4	97777.8	57407.4	74444.4	66666.7	70740.7	64444.4	68148.2
12	134444.4	118888.9	70740.7	353703.7	326666.7	317037.3	292222.2	318888.9	261111.1	218518.5	229259.3	238518.5
14	107407.4	121111.1	67037.0	198888.9	174444.4	174444.4	134814.8	181851.9	278148.2	146666.7	128148.1	177407.4

ตารางที่ 14 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/ml.) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล  
*Epiactis* sp. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0
2	1111.1	2222.2	1851.9	1111.1	1851.9	1851.9	2592.6	2222.2	1111.1	2222.2	1481.5	1111.1
4	740.7	1851.9	2963.0	5555.6	7407.4	2222.2	4074.1	7407.4	5925.9	6296.3	7407.4	1851.9
6	5185.2	4074.1	4074.1	17037.0	12963.0	16666.7	14814.8	15555.6	14814.8	20740.7	16296.3	13703.7
8	8148.2	6666.7	6666.7	37407.4	62222.2	33703.7	28888.9	42963.0	43703.7	75925.9	71111.1	66296.3
10	14444.4	17777.8	14444.4	150000.0	203333.3	112222.2	144444.4	171851.9	144444.4	104074.1	91851.9	88148.2
12	8888.9	10740.7	10740.7	147407.4	194074.1	185925.9	158888.9	167407.4	163703.7	124814.9	107037.0	118148.2
14	4814.8	4074.1	5185.2	99629.6	105925.9	108888.9	93333.3	100740.7	108888.9	75555.6	74074.0	58518.5

ตารางที่ 15 ความหนาแน่นเซลล์ของ zooxanthellae (cells/mL) ที่แยกจากดอกไม้ทะเล  
*Epiactis* sp. ที่อุณหภูมิตั้ง 33 องศาเซลเซียส ภายใต้ระดับความเค็มต่างๆ

Time (Day)	15 psu			25 psu			28 psu			33 psu		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
2	370.37	3333.33	4444.44	4074.07	3703.70	6296.30	2963.00	3703.70	8518.52	5555.56	1851.85	2592.59
4	2962.96	2222.22	1481.48	4074.07	740.74	2962.96	4074.10	1851.85	3333.33	1481.48	1481.48	1851.85
6	0	0	370.37	3333.33	1481.48	2592.60	2222.22	2222.22	2222.22	3333.33	2592.59	740.74
8	370.37	0	0	0	0	0	370.40	1111.11	1111.11	6666.67	8518.52	1111.11
10	0	0	0	0	0	0	0	740.74	370.40	1851.85	6296.30	740.74
12	0	0	0	0	0	0	0	740.74	1111.11	1111.11	4444.44	370.37
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



ตารางที่ 16 วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยตัวแปร คือ อัตราการเติบโตลำพาะ

Tests of Between-Subjects Effects					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.592a	23	0.069	20.582	0
Intercept	10.848	1	10.848	3.23E+03	0
type	0.796	2	0.398	118.295	0
salinity	0.376	3	0.125	37.282	0
temp	0.034	1	0.034	9.991	0.003
type * salinity	0.118	6	0.02	5.827	0
type * temp	0.068	2	0.034	10.046	0
salinity * temp	0.027	3	0.009	2.688	0.057
type * salinity * temp	0.174	6	0.029	8.64	0
Error	0.161	48	0.003		
Total	12.601	72			
Corrected Total	1.753	71			
a. R Squared = .908 (Adjusted R Squared = .864)					

ตารางที่ 17 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของพื้นที่เก็บปะการังดอกกะหล่ำ *Pocillopora damicornis* วันที่ 1  
 กันยายน 2555 Latitude 12.5711 Longitude 100.9304

ความลึก (ม.)	ผิวน้ำ	1	2	3	4
ปัจจัยสิ่งแวดล้อม					
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.45	28.45	28.44	28.45	28.44
ความเค็ม (psu)	30.92	30.92	30.92	30.92	30.91
pH	8.28	8.28	8.28	8.28	8.28
DO (mg/l)	5.5	5.38	5.22	5.16	5.08
ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu$ s/cm)	47.64	47.64	47.64	47.64	47.63

ตารางที่ 18 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของพื้นที่เก็บประชากรดอกเห็ด *Fungia fungites* วันที่ 1

มีนาคม 2556 Latitude 12.5749 Longitude 100.9330

ความลึก (ม.)	ผิวน้ำ	1	2	3	4	5	6
ปัจจัยสิ่งแวดล้อม							
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.59	30.59	30.58	30.57	30.57	30.57	30.56
ความเค็ม (psu)	33.92	33.92	33.92	33.91	33.92	33.92	33.92
pH	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56
DO (mg/l)	5.58	5.47	5.32	5.25	5.17	5.06	4.76
ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu\text{s/cm}$ )	51.85	51.84	51.83	51.83	51.83	51.83	51.83

ตารางที่ 19 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของพื้นที่เก็บประชากรดอกไมทะเล *Epiactis* sp. วันที่ 16 มีนาคม

2556 Latitude 12.5748 Longitude 100.9362

ความลึก (ม.)	ผิวน้ำ	1	2	3
ปัจจัยสิ่งแวดล้อม				
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.38	29.37	29.36	29.36
ความเค็ม (psu)	32.5	32.5	32.5	32.5
pH	8.12	8.12	8.12	8.12
DO (mg/l)	5.39	5.21	5.09	4.86
ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu$ s/cm)	50.72	50.72	50.72	50.72

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกมลพร พัฒนศิริ เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดภูเก็ต สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลพังงา อำเภอเมือง จังหวัดพังงา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนดีบุกพังงาวิทยายน อำเภอเมือง จังหวัดพังงา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาชีววิทยา จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เมื่อปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554 และได้รับทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ในปีการศึกษา 2555 เป็นต้นมา



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY