อัตราการตอบสนองการเกิดโรคของหัวต่อนปะการังน้ำตื้น *Acropora* spp. ในระบบพาชายฝั่ง

นางสาวนัดดา รักษาทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ในระบบเพาะเลี้ยง

นางสาว ชโลทร รักษาทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SURVIVAL AND GROWTH OF JUVENILE STAGHORN CORALS *Acropora* spp. IN CULTURE SYSTEM

Miss Chalothon Raksasab

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Marine Science

Department of Marine Sciece

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ในระบบเพาะเลี้ยง
โดย	นางสาวชโลทร รักษาทรัพย์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศานิต ปิยพัฒนากร)

ชโลทร รักษาทรัพย์: อัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ในระบบเพาะเลี้ยง. (SURVIVAL AND GROWTH OF JUVENILE CORALS *Acropora* spp. IN CULTURE SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. วรณพ วิยกาญจน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. ดร. สุชนา ชวนิชย์, 115 หน้า.

จากปัญหาการเสื่อมโทรมของปะการังและระบบนิเวศปะการังในปัจจุบัน จึงทำการศึกษาวิธีการเพาะขยายพันธุ์ปะการังโดยอาศัยคุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางใหม่ในการฟื้นฟูแนวปะการังของประเทศที่นิยมใช้วิธีการย้ายปลูกปะการัง ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้คุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเป็นหลัก การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำกาศึกษาปะการังเขากวาง *Acropora* spp. รวม 4 ชนิด โดยทำการเก็บเซลล์สืบพันธุ์ปะการังที่มีการปล่อยตามธรรมชาติจากบริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี นำเซลล์สืบพันธุ์ดังกล่าวมาปฏิสนธิและอนุบาลต่อในระบบเลี้ยงบนบกเป็นเวลา 9 เดือน เพื่อนำตัวอ่อนปะการังที่ได้ไปใช้ฟื้นฟูแนวปะการังธรรมชาติต่อไป

ผลการติดตามการสร้างและปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* spp. บริเวณพื้นที่ดังกล่าว ในรอบปี 2549 – 2551 พบว่า ปะการังมีช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมของทุกปี โดยปล่อยขณะที่น้ำค่อนข้างนิ่งในช่วงคืน 5 – 12 ค่ำ ของทั้งข้างขึ้นและข้างแรม เมื่อนำเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังมาปฏิสนธิในโรงเพาะขยายพันธุ์ปะการัง พบว่า อัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังทุกชนิดมีค่าสูงกว่าร้อยละ 90 ตัวอ่อนปะการังภายหลังการปฏิสนธิมีพัฒนาการอย่างต่อเนื่องและเปลี่ยนเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำในชั่วโมงที่ 36 – 40 หลังการปฏิสนธิ อัตราการเปลี่ยนเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำสูงกว่าร้อยละ 87 ตัวอ่อนลงเกาะบนพื้นผิวเมื่ออายุ 4 วันหลังการปฏิสนธิ อัตราการลงเกาะบนพื้นผิวร้อยละ 49 – 75 ทั้งนี้ ความสามารถในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังมีค่าลดลงเมื่อตัวอ่อนมีอายุมากขึ้น นอกจากนั้น พบการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังมากที่สุดบริเวณด้านล่างและด้านข้างของแผ่นกระเบื้อง โดยแผ่นกระเบื้องที่มีการลงเกาะมากที่สุดได้แก่แผ่นกระเบื้องที่ผ่านการแช่ในทะเลระยะเวลา 3 เดือน อนึ่ง การติดตามอัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะ พบว่า ตัวอ่อนมีอัตราการตายสูงในช่วงอายุ 3 เดือนแรก ซึ่งเป็นระยะที่ตัวอ่อนปะการังมีการชักนำสาหร่ายซูแซนเทลลีเข้ามาอยู่ร่วมอาศัย หลังจากนั้นอัตรารอดค่อนข้างคงที่โดยมีอัตรารอดเฉลี่ยที่ร้อยละ 33.0 ± 3.55 เมื่ออายุ 9 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการเติบโตของตัวอ่อนที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลาเดียวกัน จากนั้นขนาดของตัวอ่อนจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีขนาดความกว้างของส่วนกว้างสูงสุดที่ 11.9 ± 9.85 มิลลิเมตร เมื่ออายุได้ 9 เดือน

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2550	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4772264023 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEY WORD: ACROPORA / GROWTH / SURVIVAL / LAND-BASED REARING SYSTEM / SEXUAL REPRODUCTION/

CHALOTHON RAKSASAB : SURVIVAL AND GROWTH OF JUVENILE STAGHORN CORALS *Acropora* spp. IN CULTURE SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. VORANOP VIYAKARN, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST. PROF. SUCHANA CHAVANICH, Ph.D., 115 pp.

At present, anthropogenic degradation of corals in Thailand is the main issue. Thus, a new method of coral restoration using coral cultivation is introduced as an additional way to increase the coral diversity. In this study, the gametes of 4 species of *Acropora* were collected from Ao Sattahip, Chonburi Province, and were brought back to the land-based hatchery for fertilization and rearing for 9 months before transplanted to natural reefs.

The results from the field surveys between 2006 – 2008 showed that the spawning period of corals in this area occurred during January to March each year. The spawning date and time of all species related to the neap tide of water and the lunar cycle, 5 to 12 nights after the full moon or the new moon. In the rearing system, the rates of fertilization of each species were more than 90%. After the fertilization, the planula larvae were metamorphosed and developed into the swimming stage at the 36th – 40th hour. The survival rates of planulae were more than 87%, and the settlement rate of planulae were between 49 – 75%. The settlement was strongly affected by age of larvae. The results from the experiments showed that high numbers of larvae settled on the bottom and sides of the settlement plates compared to the top of the plates. Moreover, planula larvae preferred to settle on plates that were in the ocean for 3 months. After settling, the highest mortality rate of juvenile corals occurred during the first three months, the period that corals needed zooxanthellae. After 9 month, the survival rate of juvenile corals was approximately 33.0 $\pm$ 3.55%, and the size was 11.9 $\pm$ 9.85 mm in length.

Department: Marine Science Student's Signature: .....

Field of Study: Marine Science Advisor's Signature: .....

Academic Year: 2007 Co-advisor's Signature: .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชนา ชวนิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิติธรรมยง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานิต ปิยพัฒนากร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลทุกท่าน ในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ รวมถึงการตรวจแก้รูปเล่มวิทยานิพนธ์ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ ดร.อุดมศักดิ์ ดรุมาศ คุณสุภาวดี จันทร์จุงจิตต์ คุณวิชญา กันบัว คุณจิตติมา อุ้มอารีย์ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ขอบคุณ คุณลลิตา ปัจฉิม คุณเสธ์ ทรงพลอย คุณปิยะ โกยสิน คุณปฐพร เกื้อนุ้ย คุณเทพสุดา ลอยจิ้ว คุณศิริวรรณ อัศวอัจฉริยะกุล คุณเครือวัลย์ กำเนิดดี และ น้องๆ ทุกคนในกลุ่มวิจัยปะการัง ที่ร่วมแรงและคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดจน เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ชาววิทยาศาสตร์ทางทะเล โดยเฉพาะเพื่อนๆ รุ่น 34 ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และ หน่วยสงครามพิเศษทางเรือ กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ ที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการเข้าใช้พื้นที่ในการดำเนินการวิจัย ขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการ อพ.สธ. ทุกท่าน ข้าราชการกองทัพเรือ พันจ่าเอกฉลอง บั้งทอง พันจ่าเอกสมพงค์ สิงสุโต และพี่ๆ น้องๆ ทหารทุกท่านที่สนับสนุนการทำงาน ทั้งบนบกและในน้ำ ตลอดมา

ขอขอบคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในการเอื้อเฟื้อข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ Prof. Makoto Omori และ เจ้าหน้าที่ทุกท่านของ Akajima Marine Science Laboratory เมืองโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ในการให้ความรู้ คำแนะนำและเทคนิคเกี่ยวกับการอนุบาลและเพาะเลี้ยงตัวอ่อนปะการัง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนจาก โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (โครงการ BRT) ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT_T384009 และทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทุกท่านและสุดท้ายขอบคุณ ปะการังและปะการังตัวน้อย ที่ทำให้เกิดความสนใจและเป็นที่มาของการศึกษาครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่
1. บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2
1.2.1 ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปะการัง 3
1.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง 6
1.2.3 พฤติกรรมการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง 8
1.2.4 การผสมกันเองของโคโลนีเดียวกัน (self fertilization) และ การผสมข้ามชนิด/สายพันธุ์ (hybridization) 9
1.2.5 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง 10
1.2.6 การทดแทนจำนวนประชากร 14
1.2.7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายและอัตรารอดของตัวอ่อนปะการัง 16
1.2.8 การเพาะขยายพันธุ์ปะการังและการอนุบาลในระบบเลี้ยง 19
1.3 วัตถุประสงค์ 21
1.4 ขอบเขตการวิจัย 22
1.5 รายการอ้างอิง 22
2. การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ปะการังเขากวาง *Acropora* spp.ในธรรมชาติ
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย 37
2.1.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา 37
2.1.2 พื้นที่ศึกษา 37

หน้า

2.1.3 ขั้นตอนการศึกษา 39
2.1.3.1 ระยะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง....39
2.1.3.2 ระยะการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง 40
2.1.3.3 ระยะหลังการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังสู่มวลน้ำ....40
2.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....42
2.2 ผลการศึกษา....42
2.2.1 ระยะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง....42
2.2.1.1 พัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังในธรรมชาติ....42
2.2.1.2 พัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ....45
2.2.2 ระยะการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง 47
2.2.3 ระยะหลังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังออกสู่มวลน้ำ....51
2.3 วิจารณ์ผลการศึกษา....53
2.4 รายการอ้างอิง....57
3. พัฒนาการอัตรารอดของปะการังเขากวาง *Acropora* spp.ระยะการปฏิสนธิถึงระยะการลงเกาะบนพื้นผิว
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย....62
3.1.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา....62
3.1.2 พื้นที่ศึกษา....62
3.1.3 ขั้นตอนการศึกษา....63
3.1.3.1 ระยะการปฏิสนธิของไข่และสเปิร์ม (fertilization stage)....63
3.1.3.2 ระยะหลังการปฏิสนธิถึงระยะก่อนการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง....65
3.1.3.3 ระยะการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง....66
3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....70
3.2 ผลการศึกษา....71
3.2.1 ระยะการปฏิสนธิของไข่และสเปิร์ม....71
3.2.1.1 อัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ 71
3.2.2 ระยะหลังการปฏิสนธิถึงระยะก่อนการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง 73

หน้า

3.2.2.1 พัฒนาการของเซลล์ปะการังภายหลังการปฏิสนธิ 73
3.2.2.2 อัตรารอดของตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ....76
3.2.3 ระยะการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง....77
3.2.3.1 อายุของตัวอ่อนปะการังที่เหมาะสมในการลงเกาะบนพื้นผิว 77
3.2.3.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่แผ่นกระเบื้องดินเผาในทะเลเพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูน....78
3.2.3.3 อัตราและตำแหน่งที่เหมาะสมในการลงเกาะบนพื้นผิวของปะการัง ...78
3.2.3.4 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว..... 84
3.3 วิจารณ์ผลการศึกษา....86
3.4 รายการอ้างอิง....89
4.. อัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว
4.1 วิธีดำเนินการศึกษา....93
4.1.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา....93
4.1.2 พื้นที่ศึกษา....93
4.1.3 ขั้นตอนการศึกษา....94
4.1.3.1 อัตรารอดของปะการังระยะหลังการลงเกาะ....94
4.1.3.2 อัตราการเติบโตของปะการังระยะหลังการลงเกาะ....95
4.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....96
4.2 ผลการศึกษา....96
4.2.1 อัตรารอดของปะการังระยะหลังการลงเกาะ....96
4.2.2 อัตราการเติบโตของปะการังระยะหลังการลงเกาะ....99
4.3 วิจารณ์ผลการศึกษา....101
4.4 รายการอ้างอิง....104
5. สรุปผลการศึกษา
5.1 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง....106
5.2 พัฒนาการของไข่ปะการังในระบบเลี้ยง....106
5.2.1 ระยะการปฏิสนธิของไข่และสเปิร์ม....106
5.2.2 ระยะตัวอ่อนพร้อมลงเกาะบนพื้นผิว....106

5.2.3 สารเหนี่ยวนำในการลงเกาะบนพื้นผิว 107
5.3 อัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะ 107
5.3.1 อัตรารอดของตัวอ่อนระยะหลังการลงเกาะ 107
5.3.2 การเติบโตของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะ 108
5.4 อื่นๆ 108
5.5 รายการอ้างอิง 108
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 110
ภาคผนวก ข 112
ภาคผนวก ค 113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 114

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* 4 ชนิด ในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550 49

2.2 ค่าเฉลี่ย ± S.E. ของขนาดของฝักเซลล์สืบพันธุ์ ความดกไข่และความหนาแน่นของสเปิร์มต่อฝักเซลล์สืบพันธุ์ ภายหลังการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง ในรอบปี 2549/2550 52

2.3 ค่าเฉลี่ย ± S.E. ของขนาดของเซลล์ไข่ ภายหลังการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง ในรอบปี 2549/2550 53

3.1 ระยะเวลาหลังเซลล์สืบพันธุ์ปะการังมีพัฒนาการในแต่ละระยะ 76

3.2 จำนวนตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ทำการลงเกาะบนตำแหน่งต่างๆของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลาแตกต่างกัน 84

4.1 อัตราการเติบโตของตัวอ่อนในแต่ละบริเวณของแผ่นกระเบื้องที่ตัวอ่อนลงเกาะ 101

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ภาพตัดขวางของปะการังและโพลิบปะการัง 3
1.2 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* spp. ภายหลังการปฏิสนธิถึงตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ 12
1.3 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora millepora* ภายหลังการปฏิสนธิ 11 - 56 ชั่วโมง 13
1.4 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora millepora* ภายหลังการปฏิสนธิถึงระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว 13
1.5 การลงเกาะและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอ่อนปะการัง *Acropcra secale* 16
2.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา 38
2.2 พื้นที่ศึกษา 38
2.3 อุปกรณ์เก็บเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง 41
2.4 hemacytometer ชนิด improved neubauer hemacytometer 42
2.5 ระยะของเซลล์ไข่ปะการังที่เป็นสีขาวและสีชมพูจากการสังเกตุด้วยสายตาใต้น้ำ 43
2.6 อัตราส่วนของเซลล์ไข่ปะการังระยะต่างๆที่พบและไม่พบจากการติดตามในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550 44
2.7 เซลล์ไข่สีชมพูพร้อมถุงสเปริ์มสีขาวของปะการัง *Acropora humilis* 45
2.8 ลักษณะเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora humilis* ที่ผ่านกระบวนการสลายแคลเซียม 46
2.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของเซลล์ไข่ *Acropora humilis* และ *Acropora millepora* ระยะหลังการสังเกตเห็นด้วยสายตา ในรอบปี 2549/2550 ระหว่างเดือนกันยายน 2549 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2550 (n = 5 โคโลนี x 5 กิ่ง x 3 โพลิบ) 46
2.10 ความดกไข่ต่อโพลิบโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด ในรอบปี 2549/2550 ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ก่อนปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ (n = 5 โคโลนี x 5 กิ่ง x3 โพลิบ) 47
2.11 เซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* ที่พร้อมปล่อยขณะอยู่ที่บริเวณปากโพลิบ 50
2.12 ปะการัง *Acropora* ขณะทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกสู่มวลน้ำ 50

รูปที่ หน้า

2.13 อัตราการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* ที่มีการติดตามในแต่ละพื้นที่ของสองรอบปี (n = 2-30 โคโลนี) 51
2.14 ลักษณะเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora humilis* ภายหลังการปล่อยออกสู่มวลน้ำ....52
3.1 โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการังชั่วคราว เกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรี....64
3.2 การผสมเซลล์สืบพันธุ์....64
3.3 แผ่นกระเบื้องดินเผาใช้ในการศึกษาการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง....67
3.4 ลักษณะการจัดแขวนแผ่นกระเบื้องดินเผาในถังอนุบาล....67
3.5 ลักษณะการทดลองการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังบนพื้นผิวในตู้กระจกขนาดเล็ก....69
3.6 ลักษณะการวางแผ่นกระเบื้องดินเผาแต่ละแถวในถังอนุบาลขนาด 300 ลิตร....70
3.7 ลักษณะของเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้รับและไม่ได้รับการปฏิสนธิในชั่วโมงที่ 8....71
3.8 ผลการปฏิสนธิของปะการัง *Acropora* ในระบบเลี้ยง....72
3.9 พัฒนาการของไซโกตปะการัง *Acropora humilis* (n = 25-75 เซลล์)....74
3.10 พัฒนาการของไซโกตปะการัง *Acropora millepora* โดยวิธีทางเนื้อเยื่อวิทยา (n = 25-50 เซลล์)....75
3.11 ตัวอ่อนระยะว่ายน้ำของปะการัง *Acropora humilis* จากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด....75
3.12 อัตรารอดโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของเซลล์ไข่ปะการัง *Acropora* ที่ได้รับการปฏิสนธิและพัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (n = 100 ตัว x 5 ซ้ำ)....76
3.13 อัตราการลงเกาะโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่มีอายุแตกต่างกันบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 2 เดือน (n = 40-50 ตัว x 5 ซ้ำ)....77
3.14 ค่าเฉลี่ย (± S.E.) ของจำนวนและอัตราการลงเกาะ ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* บนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นระยะเวลาแตกต่างกันเพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูน....79
3.15 อัตราการลงเกาะโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด บนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 3 เดือน (n = 100 ตัว x 5 ซ้ำ)....80
3.16 อัตราการลงเกาะโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด บนส่วนต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 3 เดือน (n = 100 ตัว x 5 ซ้ำ)....80

รูปที่ หน้า

3.17 จำนวนตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ทำการลงเกาะบนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลาแตกต่างกันซึ่งวางในแนวตั้งเป็นแถว (n = 6 แผ่น x 3-4 แถว) 82

3.18 จำนวนตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ทำการลงเกาะบนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลาแตกต่างกันซึ่งแขวนในแนวนอนเป็นแถว (n = 6 แผ่น x 3 แถว) 83

3.19 พัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* หลังการลงเกาะบนพื้นผิว 85

4.1 การติดตามอัตรารอดของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* บนแผ่นกระเบื้องดินเผาโดยใช้ตารางสี่เหลี่ยม 95

4.2 การวัดขนาดของตัวอ่อนปะการังและการกำหนดตำแหน่งบนแผ่นกระเบื้องดินเผา 96

4.3 อัตรารอดโดยเฉลี่ยของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่ในทะเลเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน โดยอนุบาลในกระชังใต้ทะเลเป็นเวลา 7 เดือน 97

4.4 อัตรารอดโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่ในทะเลเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยอนุบาลในระบบเลี้ยงเป็นเวลา 9 เดือน 98

4.5 ขนาดโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่ในทะเลเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยอนุบาลในระบบเลี้ยงเป็นเวลา 9 เดือน (n = 4-7 ตัว x 10 แผ่น) 100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบนิเวศปะการังเป็นระบบนิเวศทางทะเลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งระบบหนึ่ง ทั้งในด้านความหลากหลายของตัวปะการัง และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่เข้ามาอาศัยและใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศแห่งนี้ รวมถึงมนุษย์ที่เข้ามาแสวงหาประโยชน์จากปะการังและแหล่งทรัพยากรปะการังอย่างมากมายตั้งแต่โบราณกาลจนถึงปัจจุบัน โดยใช้เป็นแหล่งอาหาร แหล่งของสารชีวภาพที่นำมาสกัดเป็นยารักษาโรค แหล่งอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว เป็นต้น การที่ปะการังถูกใช้ประโยชน์อย่างมากมายเพียงฝ่ายเดียว และการใช้ประโยชน์นั้นปราศจากการคำนึงถึงสมดุลของธรรมชาติ ขาดการจัดการ ควบคุม และดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ปะการังและแนวปะการังในปัจจุบันอยู่ในภาวะถูกคุกคามสูงและเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง ความเร่งด่วนของการจัดการ การอนุรักษ์และการฟื้นฟูระบบนิเวศปะการัง จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ก่อให้เกิดการรณรงค์เพื่อสร้างความเข้าใจถึงการใช้ประโยชน์จากแนวปะการังอย่างถูกวิธี มีการพัฒนา นำเทคนิค ตลอดจนองค์ความรู้ต่างๆ เข้ามาดำเนินการ เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อแนวปะการังให้ลดน้อยลง รวมถึง มีการสร้างจิตสำนึกให้กับเยาวชน ชุมชน และประชาชนทั่วไปได้เข้าใจถึงความสำคัญของแนวปะการัง รู้จักรักษ์และหวงแหนในทรัพยากรปะการังให้มากขึ้น

วิธีการที่นำมาใช้ฟื้นฟูแนวปะการังในปัจจุบันมีหลายวิธี ซึ่งวิธีการเหล่านี้เมื่อนำมาแบ่งออกตามคุณสมบัติการสืบพันธุ์ของปะการัง สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี คือ การฟื้นฟูแนวปะการังที่ใช้คุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และ ใช้คุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ตัวอย่างวิธีการที่นิยมนำมาใช้ฟื้นฟูแนวปะการังที่อาศัยคุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ได้แก่ การย้ายปลูกปะการัง (transplantation) วิธีการนี้เป็นการนำชิ้นส่วนปะการังมายึดติดกับวัสดุต่างๆ ที่มีพื้นผิวแข็ง เช่น อิฐบล๊อก ซีเมนต์ ท่อพีวีซี หรืออื่นๆ แล้วนำไปย้ายปลูกหรือฟื้นฟูในบริเวณที่ต้องการ สำหรับวิธีการฟื้นฟูแนวปะการังที่อาศัยคุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เช่น การสร้างปะการังเทียม (artificial reefs) เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในบริเวณที่มีตัวอ่อนปะการังตามธรรมชาติ โดยเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังให้มากขึ้น นอกจากนี้ ปัจจุบันมี

การนำเซลล์สืบพันธุ์หรือตัวอ่อนปะการังที่ได้จากการปล่อยตามธรรมชาติมาอนุบาลในระบบเลี้ยงระยะหนึ่งเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่นในธรรมชาติ รวมถึงเพิ่มอัตรารอดให้สูงขึ้น ก่อนนำไปย้ายปลูกหรือฟื้นฟูในบริเวณที่ต้องการ วิธีการนี้เข้ามามีบทบาทสำคัญเนื่องจากปะการังที่ได้มีความหลากหลายทางพันธุกรรมที่สูงกว่าการย้ายปลูกปะการัง และมีอัตรารอดที่สูงกว่าการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังในธรรมชาติ โดยมีการศึกษาในหลายพื้นที่ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ออสเตรเลีย สาธารณรัฐพาเลา เป็นต้น

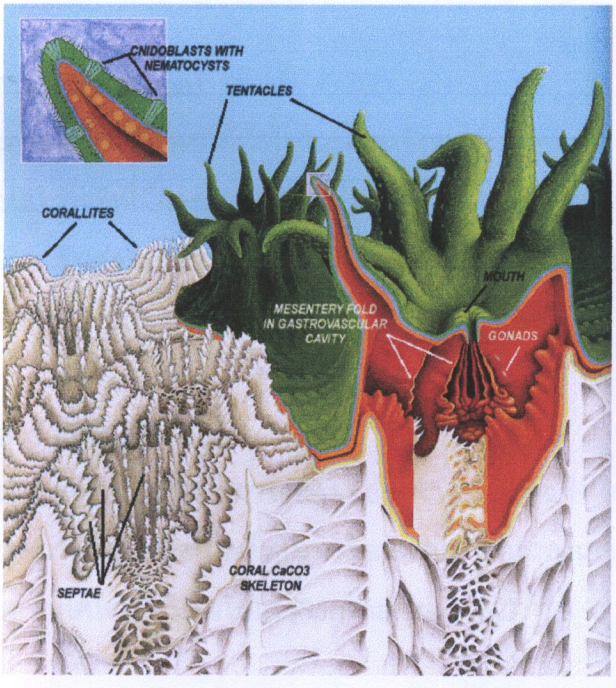
สำหรับการจัดการและการฟื้นฟูแนวปะการังในประเทศมีการดำเนินการในหลายพื้นที่ วิธีการที่นำมาใช้ส่วนมากเน้นการย้ายปลูกปะการังด้วยวิธีการต่างๆ และการสร้างปะการังเทียม ดังกล่าวข้างต้น การย้ายปลูกปะการังนั้น ประชาชนทั่วไปสามารถให้เข้ามามีส่วนร่วมในการปฏิบัติได้ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก รวมถึงสามารถเห็นผลการดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว ส่วนการสร้างปะการังเทียมถึงมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง แต่มีผลพลอยได้อื่น เช่น เป็นที่ที่ลงเกาะหรือเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่นนอกจากปะการัง รวมทั้งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งจากการบุกรุกของการทำประมงได้ ขณะที่การฟื้นฟูแนวปะการังโดยการนำเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังที่ได้จากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมาเพิ่มอัตรารอดในระบบเลี้ยงและนำไปฟื้นฟูในพื้นที่ต้องการนั้น ยังไม่มีการศึกษาในประเทศ

นอกจากนั้น จากการที่การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปะการังในประเทศมีจำกัด การศึกษาส่วนมากเป็นการศึกษาชนิดและการกระจาย การลงเกาะของตัวอ่อนในธรรมชาติ หรือช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ เป็นต้น ดังนั้น การศึกษาอัตรารอดและการเติบโตของปะการังเขากวาง Acropora spp. เพื่อการเพาะเลี้ยงนี้ จึงทำการเก็บเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังเขากวาง *Acropora* รวม 4 ชนิด ที่มีการปล่อยตามธรรมชาติมาทำการปฏิสนธิและอนุบาลในระบบเลี้ยงบนบก รวมถึงทำการประเมินอัตรารอดและอัตราการเติบโตของปะการัง โดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับชีววิทยาการสืบพันธุ์ ช่วงเวลาในการสืบพันธุ์ และชีววิทยาของปะการังแต่ละระยะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษา ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำมาใช้เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการจัดการและฟื้นฟูทรัพยากรปะการังในประเทศต่อไป

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปะการัง เป็นสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังในไฟลัม Cnidaria เช่นเดียวกับ แมงกระพรุน ดอกไม้ทะเล ปะการังอ่อน และกัลปังหา จัดอยู่ในอันดับ Scleractinia โดยปะการังจัดอยู่ใน

อันดับ Scleractinia ซึ่งแตกต่างกับสัตว์อื่นในไฟลัมเดียวกันจากการที่มีโครงร่างแข็งที่เป็นหินปูน ทำหน้าที่รองรับส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อของตัวปะการัง นอกจากนั้น ยังมีหนวด (tentacle) จำนวน 6 เส้น หรือ เป็นทวีคูณของ 6 และบริเวณปลายของหนวดไม่มีการแตกออกเป็นลักษณะคล้ายขนนก เหมือนที่พบในกลุ่มกัลปังหาที่มีหนวดจำนวน 8 เส้น หรือเป็นทวีคูณของ 8 ทั้งนี้ ตัวของปะการังแต่ละตัว เรียกว่า โพลิบ (polyp) (รูปที่ 1.1) ซึ่งมีรูปทรงค่อนข้างเป็นทรงกระบอก อาจมีขนาดเล็กมากตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร จนถึง หลายเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับชนิดปะการัง ดำรงชีวิตอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ที่เรียกว่า โคโลนี (colony) ประกอบด้วย โพลิบปะการังจำนวนมากโดยมีเนื้อเยื่อเชื่อมติดกัน ปะการังแต่ละชนิดมีรูปทรงแตกต่างกัน เช่น รูปทรงแบบกิ่งก้าน รูปทรงคล้ายโต๊ะ รูปทรงก้อน รูปทรงแบบแผ่น เป็นต้น ทั้งนี้ เมื่อมีปะการังจำนวนมากมาย หลายหลากชนิดและโคโลนีเข้ามาอยู่รวมกันในพื้นที่หนึ่งๆ จึงเกิดเป็นแนวปะการังขึ้น



รูปที่ 1.1 ภาพตัดขวางของปะการังและโพลิบปะการัง (ที่มา Veron, 1986)

1.2.1 ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปะการัง

การสืบพันธุ์ของปะการังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

1.2.1.1 **การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ** (asexual reproduction)

วิธีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศสามารถพบได้ทั่วไปในปะการัง โดยส่วนใหญ่เป็นการขยายขนาดของโคโลนี เพื่อเพิ่มพื้นที่ปกคลุมของปะการังให้สูงขึ้น หรือเป็นการแยกออกจากโคโลนีเดิม เพื่อเป็นโคโลนีใหม่ ทั้งนี้ สามารถพบได้หลายรูปแบบ เช่น

(1) **การแบ่งตัว** (budding)

หมายถึง การแบ่งตัวของโพลิบ พบได้ในปะการังทุกชนิด การแบ่งตัวทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขนาดโคโลนี ทั้งนี้ การแบ่งตัวของปะการังแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ intratentacular budding ซึ่งเป็นการที่โพลิบของปะการังใหม่เกิดขึ้นจากการแบ่งตัวของโพลิบเดิม และ extratentacular budding ที่การแบ่งตัวของโพลิบใหม่เกิดขึ้นภายนอกของตัวโพลิบเดิม

(2) **การแตกหัก** (fragmentation)

เป็นลักษณะการสืบพันธุ์ที่พบได้ทั่วไปในปะการังรูปทรงก้านและแบบแผ่น (Highsmith, 1982) เกิดจากชิ้นส่วนปะการังที่มีการแตกหักอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น พายุ คลื่น ลม หรือการกระทำของสิ่งมีชีวิต ชิ้นส่วนเหล่านี้สามารถเติบโตเป็นโคโลนีใหม่ได้ เมื่อสามารถยึดติดหรือลงเกาะบนพื้นผิวแข็งและมีภาวะเหมาะสม

(3) **โพลิบเบลเอาท์** (polyp bail-out)

หมายถึงการที่ตัวหรือเนื้อเยื่อปะการังหลุดออกจากโครงร่างแข็ง โดยการใช้ขน (cilia) พัดโบกเพื่อเคลื่อนที่ในมวลน้ำ ซึ่งตัวหรือเนื้อเยื่อปะการังเหล่านี้สามารถลงเกาะบนพื้นผิวแข็งในพื้นที่ที่เหมาะสมและเติบโตเป็นโคโลนีใหม่ต่อไปได้ (Sammarco, 1982)

(4) **กระบวนการเกิดโดยไม่มีการผสมพันธุ์** (parthenogenesis)

เป็นกระบวนการที่ไข่สามารถพัฒนาเป็นตัวอ่อนโดยตรง โดยไม่ต้องได้รับการปฏิสนธิจากสเปิร์มของเพศผู้ จากนั้นตัวอ่อนที่พัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (planula larvae) จึงถูกปล่อยออกจากตัวแม่สู่มวลน้ำ เช่น ปะการัง *Pocillopora damicornis* (Stoddart, 1983)

ทั้งนี้ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศส่งผลให้ปะการังใหม่ที่เกิดขึ้นมีลักษณะทางพันธุกรรมเหมือนกับโคโลนีแม่ทุกประการ ดังนั้น การดำรงเผ่าพันธุ์ รวมถึง โอกาสประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตของโคโลนีใหม่นั้น จึงมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกับโคโลนีแม่ เมื่อปะการังตกอยู่

ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลัน การเกิดมลภาวะในทะเล หรือ การเกิดโรคระบาด อาจส่งผลให้ประชาคมของปะการังดังกล่าวทั้งหมด มีการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมถอยได้ในที่สุด (Richmond, 1997)

1.2.1.2 **การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ** (sexual reproduction)

ลักษณะเพศของปะการังมี 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบเพศรวม หรือกระเทย (hermaphroditic) และแบบแยกเพศ (gonochoric) ลักษณะแบบเพศรวมหมายถึง การมีเพศผู้และเพศเมียอยู่ในตัวเดียวกัน ในขณะที่แบบแยกเพศหมายถึง การที่ปะการังในแต่ละโพลิบหรือโคโลนีมีเพศผู้และเพศเมียแยกออกจากกัน ทั้งนี้ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของปะการังสามารถแบ่งออกตามลักษณะการปฏิสนธิ ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีการปฏิสนธิภายในและกลุ่มที่มีการปฏิสนธิภายนอก ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันหลายประการ เช่น การส่งผ่านสาหร่ายซูแซนเทลลี (zooxanthellae) สู่ตัวอ่อนปะการัง ระยะเวลาที่ตัวอ่อนปะการังดำรงชีวิตได้ในมวลน้ำ โดยสามารถลงเกาะและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้สำเร็จ ทั้งนี้ ระยะเวลาดังกล่าวของตัวอ่อนปะการังแต่ละชนิดเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายและการประสบความสำเร็จในการลงเกาะบนพื้นผิว (Richmond, 1990)

(1) **ปะการังกลุ่มปฏิสนธิภายใน** (internal fertilization)

ปะการังกลุ่มปฏิสนธิภายในจัดเป็นปะการังในกลุ่ม brooding species ซึ่งเป็นกลุ่มที่เซลล์ไข่ของปะการังได้รับการปฏิสนธิกับสเปิร์ม และมีพัฒนาการกลายเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำหรือพลานูลา (planula larva) ภายในตัวแม่ ตัวอ่อนที่มีพัฒนาการเต็มที่จะถูกปล่อยออกสู่มวลน้ำต่อไป โดยที่ตัวอ่อนของปะการังกลุ่มนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ (Harrison and Wallace, 1990) นอกจากนั้น การที่ตัวอ่อนปะการังได้รับการส่งผ่านสาหร่ายซูแซนเทลลีมาจากตัวแม่แล้ว ทำให้ตัวอ่อนปะการังสามารถดำรงชีวิตในมวลน้ำได้เป็นเวลานาน (Hirose *et al.*, 2000) อย่างไรก็ตาม ตัวอ่อนปะการังชนิดนี้ในธรรมชาติสามารถลงเกาะบนพื้นผิวได้ทันที เนื่องจากมีความพร้อมสำหรับการลงเกาะแล้ว (Carlon, 2002) โดยตัวอ่อนส่วนมากทำการลงเกาะและกลายเป็นโคโลนีใหม่ใกล้กับโคโลนีแม่ (Carlon and Olsen, 1993) ปะการังกลุ่มปฏิสนธิภายในสามารถสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้หลายครั้งในรอบปี และส่วนมากพบได้ในปะการังวงศ์ Pocilloporidae (Hirose *et al.*, 2000)

(2) **ปะการังกลุ่มปฏิสนธิภายนอก** (external fertilization)

จัดเป็นปะการังกลุ่ม broadcasting หรือ spawning species ซึ่งมีลักษณะการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของเพศเมียและเพศผู้ออกมาปฏิสนธิภายนอกโคโลนีแม่ ซึ่งอยู่ภายในมวลน้ำ และ

พัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำในมวลน้ำนั้น ตัวอ่อนระยะว่ายน้ำของปะการังกลุ่มนี้ส่วนมากไม่มีสาหร่ายซูแซนเทลลีอยู่ภายใน แต่จะได้รับเข้ามาภายในเนื้อเยื่อภายหลังการลงเกาะบนพื้นผิว (Schwarz *et al.*, 1999) ปะการังกลุ่มปฏิสนธิภายนอกส่วนใหญ่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพียงครั้งเดียวในรอบปี พบได้ในปะการังวงศ์ Acroporidae และ Faviidae มีรายงานการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังกลุ่มนี้ในหลายพื้นที่ เช่น ประเทศออสเตรเลีย (Babcock *et al.*, 1994) ประเทศโคลัมเบีย (Acosta and Zea, 1997) ประเทศญี่ปุ่น (Fukami *et al.*, 2003) และ ประเทศเคนยา (Mangubhai and Harrison, 2006)

อย่างไรก็ตาม รูปแบบการสืบพันธุ์ของปะการังชนิดเดียวกันอาจมีความแตกต่างกันตามสถานที่ เช่น ปะการัง *Acropora humilis* ซึ่งเป็นปะการังที่มีการสืบพันธุ์แบบปฏิสนธิภายนอก แต่มีรายงานการปล่อยตัวอ่อนที่ได้จากการปฏิสนธิภายในประเทศออสเตรเลีย (Fadlallah, 1983) หรือ ปะการัง *Pocillopora damicornis* บริเวณทิศตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย มีทั้งกลุ่มที่ปล่อยตัวอ่อนที่มีการปฏิสนธิภายในและกลุ่มที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกมาปฏิสนธิภายนอก (Ward, 1992) รวมถึง มีรายงานการปล่อยตัวอ่อนที่ได้จากการปฏิสนธิภายในเพียงอย่างเดียวในบริเวณอื่นของประเทศออสเตรเลีย (Tanner, 1995) หรือที่เกาะกลาปากอส (Glynn *et al.*, 1991) เป็นต้น นอกจากนั้น ปะการัง *Goniastrea aspera* บริเวณหมู่เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น มีการสืบพันธุ์แบบปล่อยตัวอ่อนที่ได้จากการปฏิสนธิภายใน (Sakai, 1997) ขณะที่ปะการังชนิดเดียวกันบริเวณเกรทแบริเออร์รีฟ (Great Barrier Reefs) ประเทศออสเตรเลีย มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์แบบปฏิสนธิภายนอก (Babcock, 1984) ทั้งนี้ งความแตกต่างของลักษณะการสืบพันธุ์ปะการังในแต่ละพื้นที่ดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาใช้ประกอบการพิจารณาร่วมกับวิธีการจัดการ การใช้ประโยชน์ และการอนุรักษ์ทรัพยากรปะการังต่อไปได้ (Kolinski and Cox, 2003)

1.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือส่งผลต่อการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในแต่ละสถานที่มีหลายประการ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1.2.2.1 วิถีดวงจันทร์ (lunar period)

วิถีดวงจันทร์มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ขึ้นลงของระดับน้ำ (tidal range) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังโดยทั่วไปเกิดขึ้นหลังจากคืนที่ดวงจันทร์เต็มดวงหรือขึ้น 15 ค่ำ (Richmond and Hunter,

1990; Babcock *et al.*, 1994) เช่น ปะการังในบริเวณประเทศออสเตรเลีย 94 ชนิดจาก 107 ชนิด มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ระหว่างแรม 9 – 11 ค่ำ (Babcock *et al.*, 1994) อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาดังกล่าวอาจแตกต่างกันตามพื้นที่ เช่น ช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังบริเวณหมู่เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น อยู่ระหว่าง แรม 12 ค่ำ ถึง ขึ้น 7 ค่ำ (Hayashibara *et al.*, 1993) ทั้งนี้ ช่วงเวลาที่ปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์โดยทั่วไปเป็นช่วงที่ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยหรือหยุดนิ่ง (Babcock *et al.*, 1984) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่น้ำตาย (neap tide) ส่งผลให้เซลล์สืบพันธุ์ปะการังส่วนใหญ่ที่เป็นกลุ่มปฏิสนธิภายนอกได้รับโอกาสในการผสมระหว่างโคโลนีเพิ่มสูงขึ้น (Babcock *et al.*, 1986; Carroll *et al.*, 2005)

1.2.2.2 **อุณหภูมิของน้ำทะเล**

การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังโดยทั่วไปเกิดขึ้นในขณะที่อุณหภูมิของน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น พบการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ปะการังหลายบริเวณเกิดขึ้นขณะที่อุณหภูมิของน้ำทะเลมีค่าสูงสุดในรอบปี (Mangubhai and Harrison, 2006) โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อุณหภูมิของน้ำในรอบปีมีการเปลี่ยนแปลงสูง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่พบปะการังหลายชนิดมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เพียงครั้งเดียวพร้อมกัน (synchronous spawning) และมีความสัมพันธ์กับคืนที่ดวงจันทร์เต็มดวงในช่วงต้นฤดูร้อน (Fadlallah 1983; Harrison *et al.*,1984; Babcock *et al.*, 1986, 1994; Hayashibara *et al.*, 1993; Acosta and Zea, 1997; Nozawa *et al.*, 2006) สำหรับบริเวณที่อุณหภูมิของน้ำในรอบปีมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ปะการังมีแนวโน้มในการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงใดช่วงหนึ่งของปีที่ไม่พร้อมกันเพียงครั้งเดียว (Oliver *et al.*, 1988)

1.2.2.3 **ปริมาณแสงอาทิตย์**

ปริมาณแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ต่อการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังเช่นกัน พบว่าปะการังมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงคืนของวันที่ได้รับปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุด (Penland *et al.*, 2004)

1.2.2.4 **ตำแหน่งหรือพิกัดภูมิศาสตร์**

ช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังชนิดเดียวกันในต่างประชาคมมีความผันแปรตามตำแหน่งหรือพิกัดภูมิศาสตร์ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของน้ำ ปะการัง *Alveopora japonica* ในประเทศญี่ปุ่น บริเวณละติจูดสูงมีช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ที่ช้ากว่าบริเวณละติจูดต่ำ (Harii *et al.* 2001) สอดคล้องกับการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง 27 ชนิด บริเวณหมู่เกาะโซลิทารี (Solitary Islands) ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกของประเทศออสเตรเลีย ที่มีช่วงเวลา

การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ช้ากว่าปะการังชนิดเดียวกันในบริเวณเกรทแบริเออร์รีฟที่อยู่บริเวณละติจูดที่ต่ำกว่า (Wilson and Harrison, 2003)

1.2.2.5 **ปัจจัยอื่น ๆ**

ปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการสร้างและการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง ได้แก่ ขนาดและอายุของโคโลนี หรือ ลักษณะของถิ่นอาศัย เป็นต้น ขนาดเล็กที่สุดของโคโลนีปะการังแต่ละชนิดที่พบว่ามีความเหมาะสมในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์มีความแตกต่างกัน (Sakai, 1998; Torrents *et al.*, 2004) นอกจากนั้น การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังบางชนิด เช่น ปะการัง *Favia fragum* ซึ่งเป็นปะการังที่มีการปฏิสนธิภายใน มีการแปรผันตามระดับความลึกที่โคโลนีแม่อาศัย โดยโคโลนีบริเวณที่ตื้นมีความดกไข่และขนาดของไข่สูงกว่าโคโลนีที่อยู่ในบริเวณที่ลึกกว่า (Carlon, 2002)

1.2.3 พฤติกรรมการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง

พฤติกรรรมการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังที่มีการปฏิสนธิภายนอก สามารถสังเกตได้จากขณะที่ปะการังพร้อมทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ จะมองเห็นฝักของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังที่อยู่บริเวณปากของโพลิปได้ด้วยตาเปล่า โดยมีเนื้อเยื่อบางๆ ห่อหุ้มอยู่ ฝักของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังนี้มีลักษณะเป็นก้อน เรียกว่า บันเดิล (bundle) หรือ คัสเตอร์ (cluster) ภายในฝักประกอบด้วยเซลล์ไข่และสเปิร์ม ทั้งนี้ ระยะเวลาที่ปะการังพร้อมปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ เรียกว่า setting time ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนที่ปะการังเริ่มปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกสู่มวลน้ำ (Fukami *et al.*, 2003) ทั้งนี้ ปะการังที่มีการปฏิสนธิภายนอกส่วนใหญ่มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เพียงปีละหนึ่งครั้ง อย่างไรก็ตาม มีปะการังบางชนิดที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์มากกว่า 1 ครั้งในรอบปี (Wolstenholme *et al.*, 2003; Penland *et al.*, 2004; Guest *et al.*, 2005)

การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังโดยทั่วไปเกิดขึ้นหลังดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าประมาณ 1 – 4 ชั่วโมง (Wilson and Harrison, 2003; Levitan *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตาม มีปะการังบางชนิดที่มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงเวลากลางวัน เช่น ปะการัง *Pavona* sp. บริเวณจังหวัดชุมพร ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงเวลากลางวันของแรม 3 ค่ำ เวลา 1100 – 1200 น. (Plathong *et al.*, 2006) ปะการัง *Fungia danai* บริเวณ Chagos Archipelago ซึ่งอยู่ตอนกลางของมหาสมุทรอินเดียมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ระหว่างเวลา 0900 – 1000 น. ของขึ้น 15 ค่ำ (Mangubhai *et al.*, 2006)

ปะการังในเขตอบอุ่นหรือเขตละติจูดสูงมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เกิดขึ้นพร้อมกันที่เรียกว่า synchronous spawning (ข้อ 1.2.2.2) ซึ่งเป็นการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ที่เกิดขึ้นพร้อมกันในช่วงค่ำคืนเดียวของปะการังหลากหลายชนิดที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน เช่น ปะการังบริเวณเกรทแบริเออร์รีฟ ประเทศออสเตรเลีย (Harrison *et al.*, 1984; Willis *et al.*, 1997; Babcock *et al.*, 1986, 1994; Baird *et al.*, 2001; Guest *et al.*, 2005) บริเวณหมู่เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น (Hayashibara *et al.*, 1993; van Woesik, 1995; Morse *et al.*, 1996) บริเวณทะเลแคริบเบียน (de Graaf *et al.*, 1999) บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตอนใต้ สาธารณรัฐพาเลา (Penland *et al.*, 2004) เป็นต้น การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์แบบ synchronous spawning เป็นการเพิ่มโอกาสในการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์จากต่างโคโลนีของปะการังชนิดเดียวกัน โดยลดอัตราการผสมกันเองของโคโลนีเดียวกัน (self fertilization) รวมถึง ลดโอกาสการเป็นอาหารของผู้ล่าอื่น (Babcock *et al.*, 1986)

สำหรับการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในเขตละติจูดต่ำที่ปะการังแต่ละชนิดมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ไม่พร้อมกัน (asynchronous spawning) นั้น เนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังกล่าวข้างต้น (ข้อ 1.2.2) การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ลักษณะนี้เป็นการลดโอกาสในการปฏิสนธิข้ามชนิด/สายพันธุ์ (hybridization) ระหว่างปะการังต่างชนิด/สายพันธุ์ รวมถึงลดการแข่งขันในการแก่งแย่งพื้นที่ในการลงเกาะเพื่อเติบโตเป็นปะการังที่สมบูรณ์ต่อไป (Pires *et al.*, 1999)

ทั้งนี้ การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์แบบ synchronous spawning ของปะการังอาจเกิดจากสารกลุ่มฮอร์โมนบางชนิด โดยพบสาร estradial-17ß ซึ่งเป็นสารกลุ่มสเตอรอย (steroid) ที่มีปริมาณค่อนข้างมากขณะที่ปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ (Atkinson and Atkinson, 1992) ทำให้มีความเป็นไปได้ในการที่สารกลุ่มนี้มีบทบาทที่สำคัญที่ทำให้ปะการังมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในลักษณะดังกล่าว (Twan *et al.*, 2003, 2006)

1.2.4 การผสมกันเองของโคโลนีเดียวกัน (self fertilization) และการผสมข้ามชนิด/สายพันธุ์ (hybridization)

การผสมกันเองของปะการังโคโลนีเดียวกันโดยทั่วไปเกิดขึ้นในปะการังกลุ่มที่มีการปฏิสนธิภายใน โดยเฉพาะกลุ่มที่มีลักษณะเพศรวม (Carlon, 1999) อัตราการผสมกันเองของโคโลนีเดียวกันอาจสูงถึงร้อยละ 49 (Brazeau *et al.*, 1998) ในทางตรงข้าม โอกาสดังกล่าวที่สามารถ

เกิดขึ้นกับปะการังกลุ่มที่มีการปฏิสนธิภายนอก โดยเฉพาะกลุ่มปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ต่ำมาก (Heyward and Babcock, 1986; Willis *et al.*, 1997; Hatta *et al.*, 2004) ทั้งนี้ ข้อดีในการผสมกันเองของเซลล์สืบพันธุ์จากโคโลนีเดียวกันคือ เป็นการเพิ่มโอกาสในการผสมของเซลล์สืบพันธุ์ให้สูงขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่พื้นที่นั้นมีจำนวนประชากรปะการังต่ำหรือหาได้ยาก (Brazeau *et al.*, 1998) ในขณะที่ข้อด้อยคือ มีความหลากหลายทางพันธุกรรมต่ำ (Richmond, 1997)

สำหรับการผสมข้ามชนิด/สายพันธุ์สามารถพบได้ในปะการังที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยเฉพาะปะการังกลุ่ม *Acropora* ที่มีความหลากหลายของชนิดสูง (Miller and Babcock,1997; Szmant *et al.*, 1997; Willis *et al.*,1997; van Oppen *et al.*, 2004) จากการทดลองการผสมข้ามชนิดของปะการัง *Acropora* spp. ในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังดังกล่าวตามธรรมชาติที่มีการปล่อยในคืนเดียวกัน พบว่า ปะการัง *Acropora* สามารถผสมข้ามชนิดได้ โดยมีอัตราการปฏิสนธิแตกต่างกันตามลำดับความใกล้ชิดของชนิด/สายพันธุ์นั้น (Fukami *et al.*, 2003) ตัวอ่อนที่ได้จากการปฏิสนธิข้ามชนิดซึ่งเป็นลูกผสมทั้งหมดสามารถดำรงชีวิตและมีพัฒนาการเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำอย่างเป็นปกติ อย่างไรก็ตาม มีตัวอ่อนจำนวนหนึ่งที่สามารถลงเกาะบนพื้นผิวได้เป็นผลสำเร็จ (Hatta *et al.*, 1999; Fukami *et al.*, 2003) ทั้งนี้ การผสมข้ามชนิด/สายพันธุ์ในธรรมชาติมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย (Marquez *et al.*, 2002a; 2002b; Fukami *et al.*, 2004) เนื่องจาก ปะการังแต่ละชนิดกันมีกลยุทธ์ในการหลีกเลี่ยงการผสมระหว่างกลุ่มประชากรที่ใกล้เคียงกัน เช่น การมีระบบความจำที่เจาะจงระหว่างไข่และสเปิร์ม (egg-sperm recognition system) ในปะการังชนิดเดียวกัน (Coll *et al.*, 1994) กระบวนการพัดพาและเจือจางเซลล์สืบพันธุ์ (Omori *et al.*, 2001) เป็นต้น นอกจากนั้น ช่วงเวลาที่แตกต่างกันในการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังแต่ละชนิดจัดเป็นการหลีกเลี่ยงที่เป็นกลไกอย่างหนึ่งในการลดโอกาสดังกล่าวในระบบนิเวศธรรมชาติด้วย (Knowlton *et al.*, 1993; Palumbi, 1994; van Oppen *et al.*, 2002, 2004; Fukami *et al.*, 2003; Levitan *et al.*, 2004)

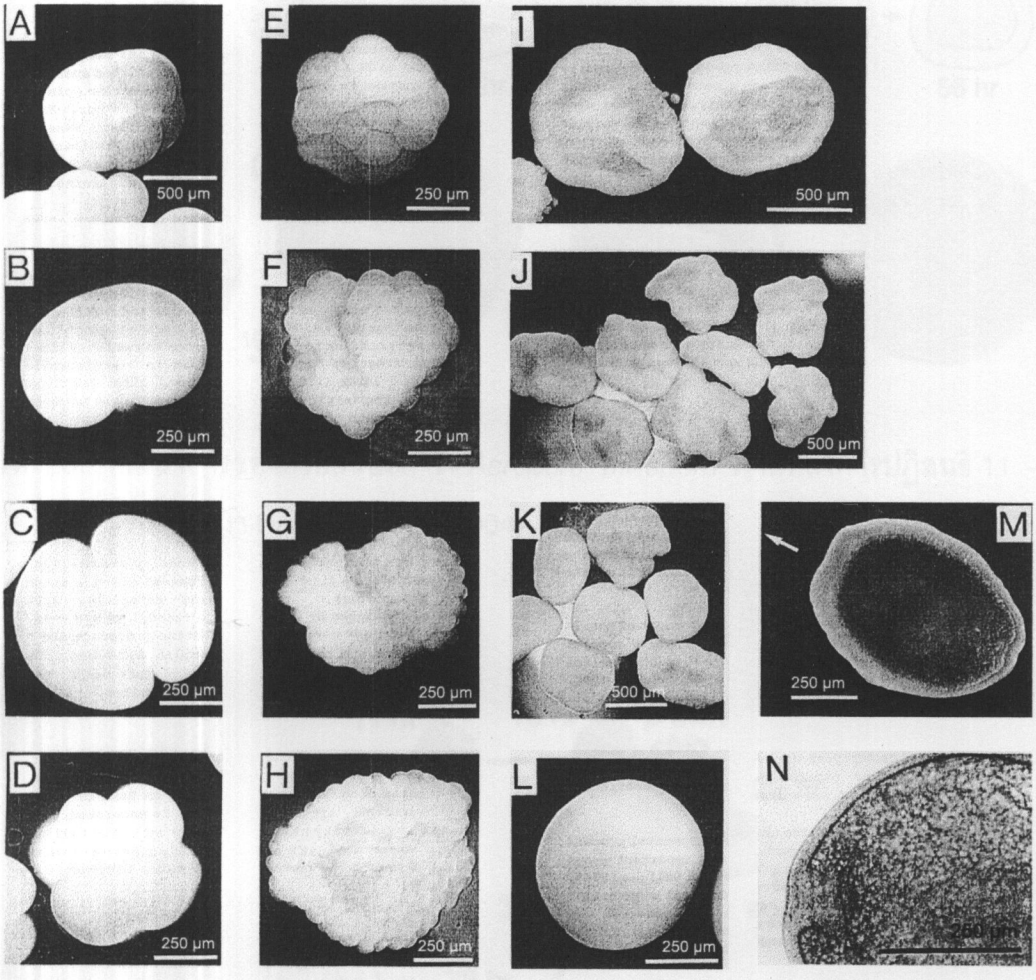
1.2.5 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง

พัฒนาการของตัวอ่อนปะการังเริ่มขึ้นภายหลังการปฏิสนธิระหว่างไข่และสเปิร์ม อัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ในกลุ่มปะการัง *Acropora* ในห้องปฏิบัติการอาจสูงมากกว่าร้อยละ 90 (Hatta *et al.*, 1999; Omori *et al.*, 2001) ในขณะที่อัตราการปฏิสนธิในธรรมชาติมีค่าต่ำกว่าในห้องปฏิบัติการมาก เนื่องจากโอกาสในการที่ไข่ได้รับการผสมจากสเปิร์มมีค่าสูงเพียง 1 – 2

ชั่วโมงแรกหลังจากปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ หลังจากนั้น ความหนาแน่นของสเปิร์มจะลดลงอย่างรวดเร็วจากการกระจายออกทั่วมวลน้ำนั้น (Omori *et al.*, 2001) ตัวอย่างพัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* spp. ภายหลังการปฏิสนธิถึงตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (Hayashibara *et al.*, 1997) พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora millepora* ภายหลังการปฏิสนธิ 11 – 56 ชั่วโมง (Hayward *et al.*, 2004) และพัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora millepora* ภายหลังการปฏิสนธิถึงระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว (Ball *et al.*, 2002) แสดงในรูปที่ 1.2 – 1.4 ตามลำดับ

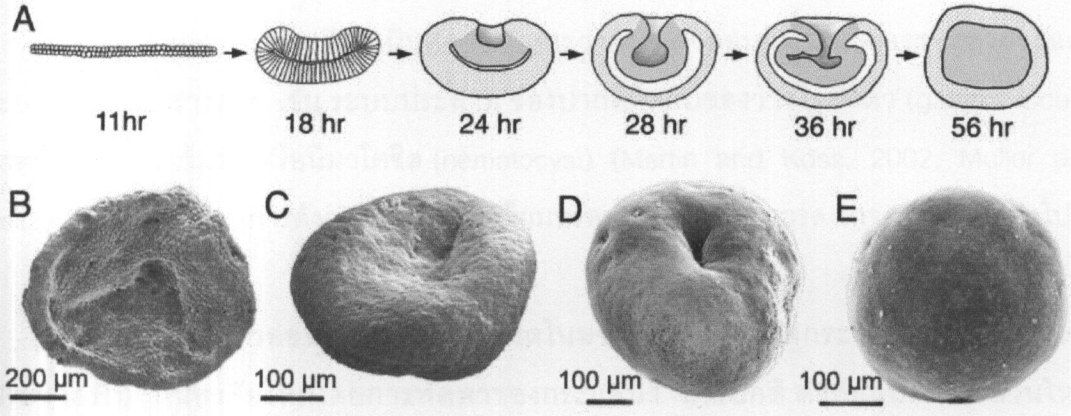
จากรูปที่ 1.2 – 1.3 ผักของเซลล์สืบพันธุ์ก่อนที่ได้รับการปฏิสนธิ (รูปที่ 1.2 A) มีเนื้อเยื่อบางๆ ห่อหุ้มอยู่ หลังการปฏิสนธิ เซลล์ไข่จึงเข้าสู่ระยะคลีเวจ (first cleavage stage) และมีการแบ่งตัวครั้งแรกออกเป็นสองเซลล์ที่มีขนาดเท่ากัน ระยะนี้สามารถสังเกตเห็นลักษณะของ progressive furrow formation ได้ชัดเจน (รูปที่ 1.2 B) การแบ่งตัวครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 เป็นแบบทวีคูณที่มีระเบียบ (รูปที่ 1.2 C – D) หลังจากระยะ 8 เซลล์ การแบ่งเซลล์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่มีระบบ และเข้าสู่ระยะที่เรียกว่า มอรูลา (morula stage) (รูปที่ 1.2 E – F) จากนั้น การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มเซลล์เข้าสู่ระยะที่มีรูปทรงแบนและมีความหนาของกลุ่มเซลล์ลดลง เรียกว่า prawn chip stage (Ball *et al.*, 2002) ซึ่งมีลักษณะคล้ายข้าวเกรียบ หรือเรียกว่า concave-convex dish shape (Hayashibara *et al.*, 1997) (รูปที่ 1.2 I) ระยะนี้เป็นลักษณะเฉพาะที่พบในการแบ่งเซลล์ของตัวอ่อนปะการัง (Ball *et al.*, 2002) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์จำนวน 2 ชั้น (รูปที่ 1.3 A) เมื่อกลุ่มเซลล์ดังกล่าวกลับมามีรูปร่างที่หนาขึ้นอีกครั้งจึงเริ่มม้วนตัวเข้าหากัน (รูปที่ 1.2 J และ 1.3 B) และเกิดเป็นช่องว่างภายในเรียกว่า บลาสโตซีล (blastocoel) ซึ่งมีช่องเปิดคือ บลาสโตพอร์ (blastopore) (รูปที่ 1.3 C – D) และมีรูปร่างกลมมากขึ้น (รูปที่ 1.2 K) เมื่อบลาสโตพอร์ปิดตัวลงอย่างสมบูรณ์แสดงว่า ตัวอ่อนปะการังได้เปลี่ยนจากระยะตัวอ่อน embryonic เป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (planula larva) ที่สมบูรณ์ (รูปที่ 1.2 L – M) กลุ่มเซลล์ระยะนี้มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลมรี (รูปที่ 1.3 E) และมีการสร้างซีเลีย (cilia) ขึ้นรอบตัวเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ต่อไป (Ball *et al.*, 2002)

ตัวอ่อนระยะว่ายน้ำของปะการังมีรูปร่างค่อนข้างกลมถึงทรงกระบอก (รูปที่ 1.2 L – M) สามารถว่ายน้ำได้โดยการโบกพัดขนที่กระจายอยู่รอบตัว ส่วนที่เป็นด้านของปาก (oral end) และส่วนตรงข้ามปาก (aboral end) สามารถแยกออกได้จากการสังเกตลักษณะในการว่ายน้ำของตัวอ่อน ทิศทางในการเคลื่อนที่เป็นทิศทางเดียวกันกับส่วนตรงข้ามกับปาก (รูปที่ 1.2 M – N) (Ball *et al.*, 2002; Martin and Koss, 2002) ซึ่งในระยะแรกของตัวอ่อนระยะว่ายน้ำในปะการังบางชนิดอาจมีความเร็วในการว่ายน้ำได้ถึง 1 – 5 มิลลิเมตรต่อนาที (Harrison and Wallace, 1990)

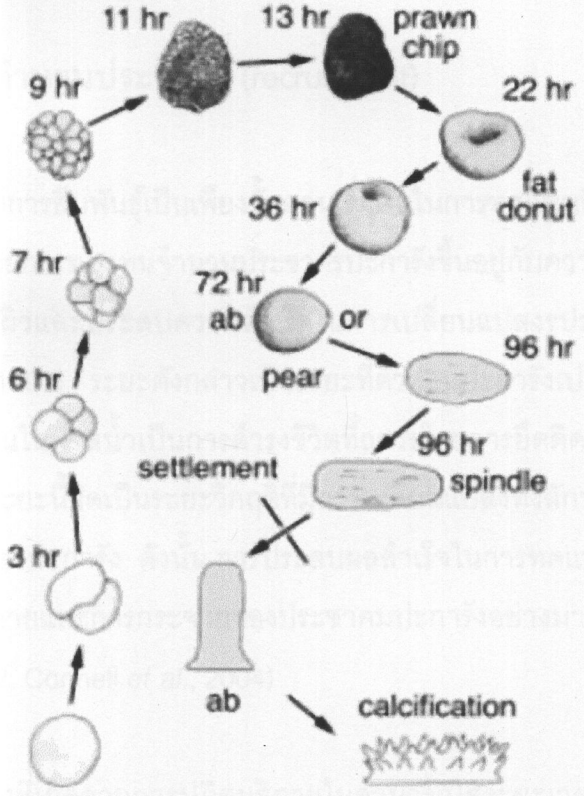


รูปที่ 1.2. พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* spp. ภายหลังการปฏิสนธิถึงตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (ที่มา Hayashibara *et al.*, 1997)

A: ฝักเซลล์สืบพันธุ์ (*Acropora nasuta*); B: การแบ่งเซลล์ครั้งแรก (*Acropora hyacinthus*); C: เริ่มแบ่งเซลล์ครั้งที่ 2 (*Acropora hyacinthus*); D: ระยะ 8 เซลล์ (*Acropora hyacinthus*); E: ระยะ 32 เซลล์ (*Acropora hyacinthus*); F: ระยะ 64 เซลล์ (*Acropora hyacinthus*); G: ระยะ 128 เซลล์ (*Acropora hyacinthus*); H: กลุ่มเซลล์เป็นแผ่นแบนระยะเริ่มต้น (*Acropora hyacinthus*); I: ระยะแผ่นแบน ที่ 12 ชั่วโมงหลังการปฏิสนธิ (*Acropora hyacinthus*); J–K: กลุ่มเซลล์เริ่มมีรูปร่างกลม ที่ 17 ชั่วโมงหลังการปฏิสนธิ (*Acropora hyacinthus*); L: ตัวอ่อนว่ายน้ำระยะเริ่มต้น ที่ 35 ชั่วโมงหลังการปฏิสนธิ (*Acropora hyacinthus*); M: ตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ อายุ 3 วันหลังการปฏิสนธิ (*Acropora secale*) ลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวอ่อน N: บริเวณช่องปากของตัวอ่อน อายุ 4 วันหลังการปฏิสนธิ (*Acropora nasuta*)



รูปที่ 1.3. พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora millepora* ภายหลังการปฏิสนธิ 11 – 56 ชั่วโมง (ที่มา Hayward *et al.*, 2004)



รูปที่ 1.4 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora millepora* ภายหลังการปฏิสนธิถึงระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว (ที่มา Ball *et al.*, 2002)

ขณะที่ปะการังดำรงชีวิตเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ ตัวอ่อนมีพัฒนาการของอวัยวะและระบบต่างๆ ของร่างกาย เช่น ระบบประสาท ช่องปากที่ติดกับช่องว่างในลำตัว (gastrovascular cavity) รวมถึง เข็มพิษหรือนีมาโตซิส (nematocyst) (Martin and Koss, 2002; Muller and Leitz, 2002) ซึ่งพัฒนาการดังกล่าวเป็นการเตรียมพร้อมสำหรับระยะการลงเกาะบนพื้นผิวต่อไป

ระยะเวลาที่ตัวอ่อนปะการังดำรงชีวิตในมวลน้ำเป็นโอกาสกระจายและเพิ่มจำนวนประชากรไปสู่ถิ่นอาศัยใหม่โดยการพัดพาของกระแสน้ำ โดยปกติ ตัวอ่อนปะการังส่วนใหญ่สามารถลงเกาะบนพื้นผิวได้ภายในระยะเวลา 2 – 4 วันหลังการปฏิสนธิ (Nozawa and Harrison, 2002) อย่างไรก็ตาม ตัวอ่อนปะการังบางชนิดสามารถดำรงชีวิตในน้ำได้เป็นระยะเวลานานกว่า 1 เดือน (Szmant and Meadows, 2006) เช่น ตัวอ่อนปะการัง *Platygyra daedalea* สามารถลงเกาะบนพื้นผิวที่อายุประมาณ 4 – 5 วัน แต่สามารถดำรงชีวิตในมวลน้ำได้นานถึง 105 วัน (Nozawa and Harrison, 2002)

1.2.6 การทดแทนจำนวนประชากร (recruitment)

ความสำเร็จของการสืบพันธุ์เป็นเพียงขั้นตอนเริ่มต้นในการทดแทนที่ของจำนวนประชากรปะการังในธรรมชาติ โดยการทดแทนจำนวนประชากรปะการังขึ้นอยู่กับความสามารถของตัวอ่อนที่ทำการลงเกาะบนพื้นผิวและประสบความสำเร็จในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (metamorphosis) ได้ต่อไป (Richmond, 1997) ระยะดังกล่าวเป็นระยะที่ตัวอ่อนปะการังเปลี่ยนการดำรงชีวิตจากลักษณะของแพลงก์ตอนในมวลน้ำเป็นการดำรงชีวิตที่ถาวรโดยการยึดติดบนพื้นผิว การเปลี่ยนสถานะของปะการังในระยะนี้จัดเป็นระยะวิกฤติที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะทางกายภาพและลักษณะการดำรงชีวิตของปะการัง ดังนั้น การประสบผลสำเร็จในการทดแทนจำนวนประชากรจึงส่งผลต่อความหลากหลายและการกระจายของประชาคมปะการังอย่างมาก (Harii *et al.*, 2002; Muller and Leitz, 2002; Connell *et al.*, 2004)

ตัวอ่อนปะการังที่เกิดจากการปฏิสนธิภายในสามารถใช้ระยะเวลาพัฒนาการในการลงเกาะบนพื้นผิวที่สั้นกว่าปะการังที่มีการปฏิสนธิภาพนอก เนื่องจากเป็นตัวอ่อนที่มีความพร้อมในการลงเกาะขณะถูกปล่อยออกจากโคโลนีแม่ ทำให้ตัวอ่อนของปะการังกลุ่มนี้มีอัตรารอดในการลงเกาะบนพื้นผิวสูง (Carlon, 2002) แต่มีการกระจายในพื้นที่ค่อนข้างแคบ (Carlon and Olsen, 1993) ซึ่งแตกต่างจากตัวอ่อนที่ได้จากการปฏิสนธิภายนอกที่จำเป็นต้องใช้เวลาพัฒนาการขณะที่

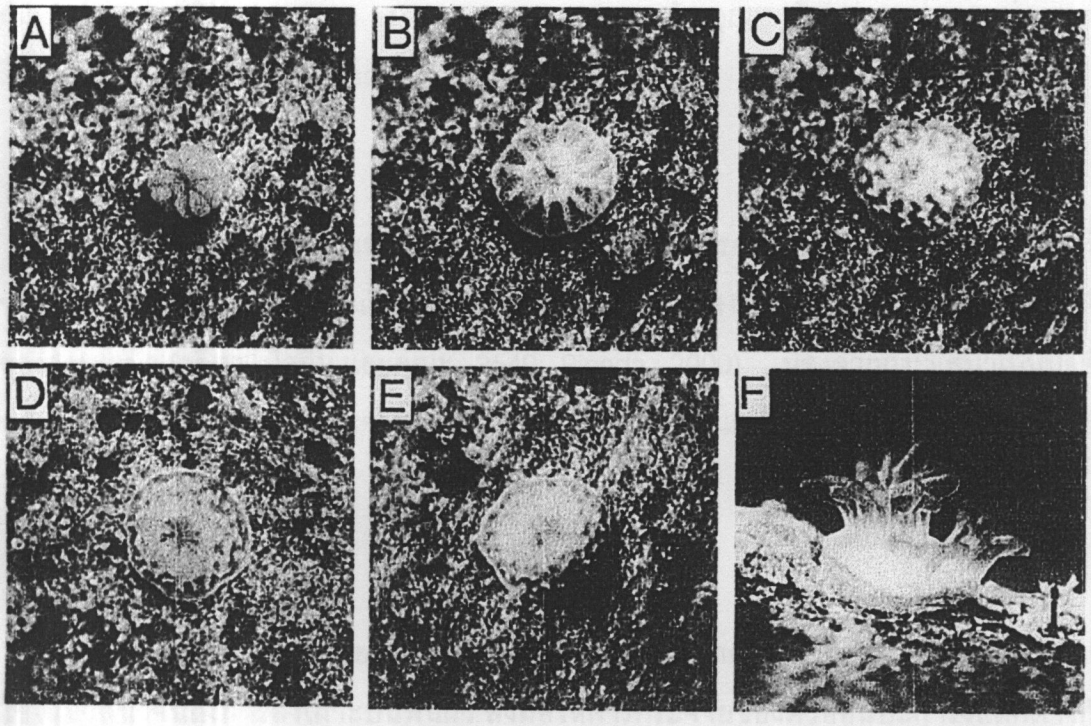
เป็นแพลงก์ตอนล่องลอยในมวลน้ำ ทำให้มีอัตรารอดต่ำแต่มีขอบเขตของการกระจายกว้าง (Pineda, 2000) ทั้งนี้ ระยะเวลาที่ตัวอ่อนปะการังต้องการแตกต่างกันตามชนิดของปะการัง (Zaslow and Benayahu, 1996)

การลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง รวมถึงสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหลายชนิด อาศัยสารเหนี่ยวนำจากธรรมชาติ (natural inducer) (Morse *et al.*, 1988, 1994, 1996; Morse and Morse, 1991; Heyward and Negri, 1999; Steinberg *et al.*, 2002) ที่พบอยู่กับสาหร่ายหินปูน (coralline red algae) (Morse and Morse, 1991) ทั้งนี้ สารสังเคราะห์ประเภท neuropeptide กลุ่ม GLWamides สามารถเหนี่ยวนำให้ปะการังกลุ่ม *Acropora* ทำการลงเกาะบนพื้นผิวและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ก่อนที่ตัวอ่อนปะการังแสดงอาการพร้อมทำการลงเกาะบนพื้นผิวนั้น (Iwao *et al.*, 2002; Plickert *et al.*, 2003) นอกจากนั้น ยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถเหนี่ยวนำให้ปะการังทำการลงเกาะบนพื้นผิวเช่นกัน (Negri *et al.*, 2001) ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ทำหน้าที่กระตุ้นวงจรของ phosphatidylinositol signal ในกระบวนการ transduction pathway ของเซลล์รับสัมผัส (sensory cells) จำนวนหนึ่งที่อยู่บริเวณส่วนตรงข้ามปากของตัวอ่อนปะการัง (Leitz, 1993)

เมื่อตัวอ่อนระยะว่ายน้ำมีพัฒนาการของอวัยวะต่างๆ สมบูรณ์และพร้อมทำการลงเกาะบนพื้นผิวแล้ว รูปทรงของตัวอ่อนมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกระบอก มีความเร็วในการว่ายน้ำและความสามารถในการลอยตัวลดลง บางครั้งพบการว่ายน้ำขึ้นลงในแนวดิ่งหรือคืบคลานใกล้บริเวณพื้นเพื่อสำรวจหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการลงเกาะต่อไป (Martin and Archer, 1997) ทั้งนี้ พฤติกรรมที่สามารถบ่งชี้ความพร้อมในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง สามารถแบ่งออกได้ 4 ลักษณะ ดังนี้ 1) touch down หมายถึง ตัวอ่อนมีการว่ายน้ำลงแตะที่บริเวณพื้นแล้วหยุดนิ่งหลังจากนั้นจึงเริ่มว่ายอีกครั้งหนึ่ง 2) creeping หมายถึง ตัวอ่อนมีการคืบคลานบนพื้นผิว 3) spinning หมายถึง ตัวอ่อนว่ายน้ำแบบควงสว่าน และนำด้านตรงข้ามปากลงแตะกับพื้นผิว และ 4) anchoring หมายถึง การยึดเกาะแน่นกับพื้นผิวของตัวอ่อน (Hayashibara *et al.*, 1997)

จากนั้น ตัวอ่อนปะการังที่พร้อมทำการลงเกาะจึงใช้บริเวณส่วนตรงข้ามปากยึดติดกับพื้นผิวแข็งและเริ่มกระบวนการการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นโดยการแบนตัวลง ทำการแบ่ง mesentery ในแนวรอบช่องปากออกเป็น 12 ส่วนตามแนวรัศมี (รูปที่ 1.5 A) และมีพัฒนาการเป็นตัวอ่อนที่เป็นโพลิบที่ยังไม่มีการสร้างโครงร่างแข็ง (รูปที่ 1.5 B) หลังจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยสมบูรณ์ จึงเริ่มทำการสร้างโครงร่างแข็ง (รูปที่ 1.5 C) และเป็นปะการังวัยอ่อนที่ลงเกาะ

อย่างสมบูรณ์ต่อไป (รูปที่ 1.5 D – F) (Harrison and Wallace, 1990) ทั้งนี้ ลักษณะของตัวอ่อนกลุ่มปะการัง Acropora ที่ลงเกาะสมบูรณ์มีลักษณะเป็น porous ceonostum และ prominent septa ที่ไม่มี columella เช่นเดียวกับที่พบในปะการังที่มีขนาดใหญ่ (Babcock, *et al.* 2003)



รูปที่ 1.5. การลงเกาะและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอ่อนปะการัง *Acropora secale* (ที่มา Hayashibara *et al.*, 1997)

A: ระยะเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง; B: โพลิบปะการังที่ยังไม่มีการสร้างโครงร่างแข็ง (อายุ 17 ชั่วโมงหลังการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง); C: โพลิบเริ่มทำการสร้างโครงร่างแข็ง; D: โพลิบปะการังอายุ 6 วัน; E: โพลิบปะการังอายุ 9 วัน; F: โพลิบปะการังอายุ 2 เดือน สามารถมองเห็นสาหร่ายซูแซนเทลลี

1.2.7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายและอัตรารอดของตัวอ่อนปะการัง

ช่วงชีวิตของตัวอ่อนปะการังตามธรรมชาติตั้งแต่ระยะหลังการปฏิสนธิจนถึงระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว (post-settlement) เป็นช่วงเวลาที่มีอัตราการตายสูง (Sato, 1985; Babcock and Mundy, 1996) ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการกระจายและอัตรารอดของตัวอ่อนปะการังอาจแบ่งออกเป็นปัจจัยทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ กระแสน้ำ และปัจจัยทางชีวภาพ เช่น ผู้ล่า การแข่งขัน นอกจากนั้น ปัญหาด้านมลภาวะจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ส่งผลต่อการอยู่รอดของตัวอ่อนปะการังเช่นกัน

1.2.7.1 **อุณหภูมิ**

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อระยะเวลาพัฒนาการของตัวอ่อนปะการังระยะต่างๆ (Ball *et al.*, 2002; Nozawa and Harrison, 2002) อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ตัวอ่อนปะการังมีอัตราการตายที่สูงขึ้นและมีการลงเกาะที่เร็วกว่าปกติ เนื่องจากการที่ตัวอ่อนมีพัฒนาการและ/หรือความสมบูรณ์ไม่เพียงพอ (Edmunds *et al.*, 2001) นอกจากนั้น อุณหภูมิยังส่งผลต่อการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ด้วย (Szmant and Gassman, 1990)

1.2.7.2 **กระแสน้ำ**

ลักษณะทางกายภาพของทะเลเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกระจายของตัวอ่อนสัตว์ทะเลที่มีช่วงชีวิตเป็นแพลงก์ตอน ซึ่งรวมถึงตัวอ่อนปะการัง (Gilg and Hilbish, 2003) โดยเฉพาะปัจจัยของกระแสน้ำ (ลลิตา ปัจฉิม และคณะ, 2549; Pineda, 2000) เนื่องจากกระแสน้ำเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ตัวอ่อนสามารถกระจายออกจากแหล่งกำเนิดได้เป็นระยะทางไกล (Wiliis and Oliver, 1990)

1.2.7.3 **ลักษณะทางชีววิทยา**

ลักษณะทางชีววิทยาของตัวอ่อนปะการัง เช่น ชนิด ขนาด หรือ ช่วงเวลาที่ตัวอ่อนปะการังใช้ในมวลน้ำจนถึงการลงเกาะบนพื้นผิว ส่งผลให้การกระจายของตัวอ่อนปะการังแตกต่างกันเช่นกัน (Marshall and Keough, 2003) **ขนาดของปะการังมีความสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบของไขมันในตัวอ่อน ปริมาณองค์ประกอบของไขมันนอกจากเป็นแหล่งอาหารสะสมสำหรับตัวอ่อนปะการังที่ได้มาจากโคโลนีแม่แล้ว ยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาที่ตัวอ่อนปะการังสามารถลอยตัวอยู่ในมวลน้ำด้วย การกระจายสู่พื้นที่ที่ห่างไกลของตัวอ่อนปะการัง หรือโอกาสที่ตัวอ่อนปะการังจะกระจายไปสู่ประชาคมใหม่จึงมีความเป็นไปได้สูงหากมีปริมาณองค์ประกอบของไขมันสูง เช่น ตัวอ่อนปะการัง *Heliopora coerulea* ซึ่งเป็นปะการังที่มีการปฏิสนธิภายใน เมื่อถูกปล่อยออกจากโคโลนีแม่แล้ว ตัวอ่อนจะว่ายน้ำอยู่ใกล้กับพื้นผิวเนื่องจากมีไขมันเป็นองค์ประกอบไม่สูงนัก (ร้อยละ 54) ตัวอ่อนปะการังชนิดนี้จึงมีการลงเกาะบนพื้นผิวอย่างรวดเร็วและลงเกาะใกล้กับโคโลนีแม่** (Harii *et al.*, 2002)

1.2.7.4 **ความสมบูรณ์**

ความสมบูรณ์ของปะการังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ พบการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และอัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังลดต่ำลงขณะที่ปะการังเกิดการฟอกขาว (bleaching) เนื่องจากความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของสเปิร์มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ

เมื่ออยู่ในภาวะปกติ (Omori *et al.*, 2001) นอกจากนั้น การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ยังได้รับผลกระทบจากระดับความเสียหายของโคโลนีด้วยเช่นกัน โดยพบว่าการหักของกิ่งปะการังส่งผลให้ปะการังหยุดการสร้าง ลดขนาด หรือลดจำนวนเซลล์สืบพันธุ์ลง เป็นต้น เนื่องจากปะการังต้องนำพลังงานส่วนใหญ่ไปใช้ในการรักษาอวัยวะที่เสียหายแทนการนำพลังงานไปใช้ในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (Kojis and Quinn, 1981; Szmant-Froelich, 1985; Smith and Hughes, 1999)

1.2.7.5 ผู้ล่า

ผู้ล่าจัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออัตรารอดของปะการังในระบบนิเวศ โดยเฉพาะในระยะที่ตัวอ่อนปะการังดำรงชีวิตในมวลน้ำ ผู้ล่าส่วนใหญ่ ได้แก่ ปลาหลายชนิดที่กินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร เช่น กลุ่มปลาสลิดหิน (damselfish) รวมถึง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่กรองกินอาหารจากมวลน้ำ (McCormick, 2003) หรือแม้กระทั่งตัวปะการังเองด้วยเช่นกัน (Fabricius and Metzner, 2004)

1.2.7.6 การครอบครองพื้นที่ปกคลุม

การแข่งขันของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายและจำนวนของสิ่งมีชีวิตนั้น รวมถึงปะการัง (Connell *et al.*, 2004) การแข่งขันดังกล่าวของปะการังเริ่มต้นจากการหาพื้นที่หรือพื้นผิวที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการลงเกาะ การพบพื้นที่ที่เหมาะสม รวมถึงพื้นที่ที่ปะการังทำการลงเกาะนั้น ซึ่งทั้งหมดจัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทดแทนจำนวนประชากรและการเติบโตของตัวปะการังด้วย (Muko *et al.*, 2001) ปะการังจำเป็นต้องทำการแข่งขันในการครอบครอง/แก่งแย่งพื้นที่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นที่มีความต้องการพื้นที่ดังกล่าวเช่นกัน (Maida *et al.*,1995; Gleason, 1996; Baird and Hughes, 2000) สิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทสำคัญในการแข่งขันเพื่อครอบครองพื้นที่ปกคลุมกับปะการัง ได้แก่ สัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด เช่น เพรียงหิน เพรียงหัวหอม หอยสองฝา ไส้เดือนทะเล รวมทั้ง สาหร่าย เป็นต้น (Tanner, 1995; Fairfull and Harriott, 1999) ในกรณีของสาหร่ายซึ่งนอกจากมีผลต่อการบดบังของแสงที่ตัวอ่อนปะการังต้องการแล้ว สาหร่ายบางชนิด เช่น กลุ่มสาหร่าย filamentous ยังส่งผลให้อัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังลดลง (Petersen *et al.*, 2005)

1.2.7.7 มลภาวะในน้ำ

ปัญหาด้านมลภาวะในน้ำส่งผลต่อการอยู่รอดของตัวอ่อนปะการัง โดยสารพิษที่เป็นสาเหตุในการยับยั้งกระบวนการสร้างและการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอ่อนปะการัง ได้แก่ น้ำมัน คราบน้ำมัน รวมถึงสารเคมีที่ใช้ในการสลายคราบน้ำมัน

(dispersant) (Rinkevich and Loya, 1979; Loya and Rinkevich, 1980; Harrison and Wallace, 1990; Guzman and Holst, 1993 Lane and Harrison, 2002) นอกจากนั้น สาร tributyltin สังกะสี และทองแดง ซึ่งเป็นสารที่ผสมในสีกันเพรียงมีผลต่อปะการังด้วยเช่นกัน (Negri and Heyward, 2001; Negri *et al.*, 2002)

8) **ปริมาณของตะกอนแขวนลอยและธาตุอาหารในน้ำ**

ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำสามารถส่งผลให้ตัวอ่อนปะการังภายหลังการลงเกาะบนพื้นผิวมีอัตรารอดต่ำลงหากมีตะกอนดังกล่าวจำนวนมากปกคลุมปะการัง ซึ่งเป็นผลมาจากการบดบังของแสง รวมถึงการได้สารอาหารไม่เพียงพอ และปะการังตายในที่สุด สำหรับภาวะที่ในน้ำมีธาตุอาหารมากเกินปกติสามารถส่งผลต่อการสร้างและจำนวนของเซลล์สืบพันธุ์ได้ ซึ่งรวมถึงการลงเกาะบนพื้นผิว และอัตรารอดภายหลังลงเกาะของตัวอ่อนปะการังด้วยเช่นกัน (Tomascik and Sander, 1987; Hunte and Wittenberg,1991; Tomascik, 1991; Loya *et al.*, 2004; Birrell *et al.*, 2005; Villanueva *et al.*, 2005) เช่น ปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำที่มากเกินความจำเป็นส่งผลให้ปะการังมีการสร้างไข่ที่มีขนาดเล็กลงและมีจำนวนน้อยลง รวมทั้ง ทำให้ส่วนที่ใช้ในการสร้างสเปิร์มมีขนาดเล็กลง ในขณะที่ฟอสฟอรัสช่วยให้มีการสร้างไข่ที่มีจำนวนมากขึ้น แต่ขนาดของไข่เล็กลงกว่าปกติ (Ward and Harrison, 2000)

1.2.8 การเพาะขยายพันธุ์ปะการังและการอนุบาลในระบบเลี้ยง

การเพาะขยายพันธุ์ปะการังโดยการนำตัวอ่อนปะการังมาปฏิสนธิและอนุบาลในระบบเลี้ยงมีการศึกษาและพัฒนาในหลายประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น (Hayashi and Iwase, 2006; Okamoto *et al.*, 2005; Omori, 2005) ประเทศฟิลิปปินส์ (Raymundo *et al.*, 1999) ประเทศออสเตรเลีย (Heyward *et al.*, 2002) การศึกษาส่วนใหญ่เป็นการนำเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังที่ได้จากธรรมชาติมาทำการปฏิสนธิในระบบเลี้ยงขนาดเล็ก (โรงเพาะเลี้ยงบนบกหรือห้องปฏิบัติการ) เพื่อศึกษาลักษณะทางชีววิทยาต่างๆ ได้แก่ พัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์และการลงเกาะของตัวอ่อน (Lewis, 1974; Hayward and Negri, 1999; Ball *et al.*, 2002; Iwao *et al.*, 2002) ระยะเวลาที่ตัวอ่อนสามารถดำรงชีวิตในน้ำ (Zaslow and Benayahu, 1996) การตอบสนองของตัวอ่อนปะการังต่อปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ (Nozawa and Harrison, 2002; Edmunds *et al.*, 2001) ปริมาณแสง (Suzuki and Hayashibara, 2006) ปริมาณธาตุอาหารและตะกอน (Loya *et al.*, 2004; Birrell *et al.*, 2005) และมลพิษ (Lane and Harrison, 2002; Negri and Heyward, 2001) เป็นต้น นอกจากนั้น ยังมีการศึกษาในระบบเลี้ยงขนาดใหญ่ เพื่อ

วัตถุประสงค์อื่นโดยเฉพาะ เช่น การขยายพันธุ์เพื่อใช้เป็นวิธีการหนึ่งในการฟื้นฟูแนวปะการัง (Raymundo *et al.*, 1999; Peterson and Tollrian, 2001; Heyward *et al.*, 2002; Iwao *et al.*, 2002; Hayashibara *et al.*, 2004; Petersen *et al.*, 2005; Hayashi and Iwase, 2006; Suzuki and Hayashibara, 2006)

การศึกษาและพัฒนาวิธีการเพาะขยายพันธุ์และทำการอนุบาลปะการังกลุ่ม *Acropora* ที่หมู่เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น พบว่า การเลี้ยงปะการังในระบบเลี้ยงสามารถช่วยให้ปะการังมีอัตราการเติบโตสูงกว่าปะการังในธรรมชาติเนื่องจากปราศจากปัจจัยอื่นที่เข้ามารบกวน (Hatta *et al.*, 2004; Hayashi and Iwase, 2006) อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงในระบบเลี้ยงอาจมีปัญหาเกี่ยวกับอัตรารอดหากมีสิ่งมีชีวิตอื่นที่เติบโตเร็วกว่าเข้ามาแข่งขันในระบบเลี้ยง เช่น การเลี้ยงปะการังในระบบเลี้ยงมีอัตรารอดต่ำเมื่อพบว่ามีการแข่งขันกับสาหร่าย (Yep and Molina, 2003) โดยตัวอ่อนปะการังอายุ 1 ปี มีอัตรารอดต่ำกว่า ร้อยละ 1 (Hayashi and Iwase, 2006) ทั้งนี้ เมื่อมีการนำหอยนมสาว *Trochus niloticus* ขนาดเล็กเข้ามาเลี้ยงร่วมกับตัวอ่อนปะการังภายหลังการลงเกาะ พบว่า หอยนมสาวช่วยให้ปะการังมีอัตรารอดที่ดีขึ้น เนื่องจากหอยนมสาวขนาดเล็กช่วยขูดกินสาหร่ายที่เติบโตขึ้นมาแก่งแย่งพื้นที่กับปะการังโดยไม่สร้างความเสียหายให้กับตัวอ่อนปะการังนั้น (Omori, 2005)

อย่างไรก็ตาม การนำเซลล์สืบพันธุ์ปะการังจากธรรมชาติมาทำการปฏิสนธิและอนุบาลในระบบเลี้ยงเพื่อเพิ่มอัตรารอดและนำไปใช้ประโยชน์ในการฟื้นฟูแนวปะการังในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษา ถึงแม้ว่าการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปะการังในปัจจุบันได้รับความสนใจ มีการศึกษาในหลายพื้นที่และหลายสาขา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาเกี่ยวกับชีววิทยาการสืบพันธุ์ (Fautin, 2002) แต่เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับปะการังในประเทศมีค่อนข้างจำกัด การศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาชนิดและการกระจายของปะการัง (วรุณพร จิรวัฒน์, 2528; อัญชลี จันทร์คง, 2549; Sakai *et al.*, 1986; Chou *et al.*, 1991; Phongsuwan, 1994) การศึกษาช่วงเวลาของการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง (มณฑิรา ถาวรยุติการต์, 2532; ธรรมศักดิ์ ยีมิน, 2543; ทนงศักดิ์ จันทร์เมธากุล, 2545; ลลิตา ปัจฉิม, 2548; ศรีสกุล ภิรมย์วรากร และคณะ, 2549) หรือการศึกษาการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังในธรรมชาติ (ธรรมศักดิ์ ยีมิน, 2541; ลลิตา ปัจฉิม และคณะ, 2549) เป็นต้น ในขณะที่การฟื้นฟูแนวปะการังเข้ามามีบทบาทในพื้นที่ที่เสื่อมโทรมหรือถูกทำลาย แต่วิธีการและเทคนิคส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการฟื้นฟูระบบนิเวศปะการังในประเทศยังคงนิยมใช้การย้ายปลูกปะการัง (fragmentation) และการสร้างปะการังเทียม (artificial reefs) เป็นหลัก การย้ายปลูกปะการังที่อาศัยหลักการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่เป็นการนำชิ้นส่วนของ

ปะการังมายึดติดกับวัสดุที่ใช้เป็นพื้นผิวแข็ง เช่น ท่อพีวีซี อิฐบล็อก ซีเมนต์ หรืออื่นๆ และนำไปปลูกในพื้นที่ที่ต้องการ (Fitzhardinge and Bailey-Brock, 1989; Oren and Benayahu, 1997; Ammer *et al.*, 2000) เป็นที่นิยมและพบปฏิบัติอยู่ทั่วไป เนื่องจากมีกรรมวิธีที่ไม่ซับซ้อน ปฏิบัติได้ง่าย ต้นทุนในการปฏิบัติต่ำ ทั้งภาคเอกชนและชุมชนทั่วไปสามารถเข้ามามีส่วนร่วมได้ (Yeemin *et al.*, 2006) สำหรับการสร้างปะการังเทียมที่อาศัยคุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของปะการัง ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มพื้นที่ในการลงเกาะให้กับตัวอ่อนปะการังตามธรรมชาติ มีต้นทุนในการปฏิบัติสูง และจำเป็นต้องทำการวางในพื้นที่ที่มีตัวอ่อนปะการังตามธรรมชาติอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม การสร้างปะการังเทียมยังเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่นที่อยู่ประจำถิ่น รวมถึง เป็นสถานที่ที่เข้ามาใช้ประโยชน์ของสัตว์ที่ไม่อยู่ประจำที่ด้วย (Jaap, 2000)

ดังนั้น การศึกษาอัตรารอดและการเติบโตของปะการังเขากวาง *Acropora* spp. เพื่อการเพาะเลี้ยงครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นทำการศึกษาในกลุ่มของปะการัง *Acropora* 4 ชนิด เนื่องจากเป็นกลุ่มปะการังที่มีความสำคัญในพื้นที่ศึกษา มีความหลากหลายสูงในระบบนิเวศ และกระบวนการติดตามการสร้างเซลล์สืบพันธุ์สามารถทำได้ง่าย โดยทำการเก็บเซลล์สืบพันธุ์ที่มีการปล่อยตามธรรมชาติมาทำการปฏิสนธิและอนุบาล (เพาะและขยายพันธุ์) ในระบบเลี้ยง ศึกษาชีววิทยาการสืบพันธุ์ ช่วงเวลาในการสืบพันธุ์ และพัฒนาการของปะการังแต่ละระยะ รวมถึง ประเมินอัตรารอดและการเติบโตของปะการัง เพื่อนำปะการังที่ได้ไปย้ายปลูกและฟื้นฟูในบริเวณที่ต้องการต่อไป ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้พัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาอื่น และสามารถนำมาใช้เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการวางแผน การจัดการ และการฟื้นฟูทรัพยากรปะการังในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาพัฒนาการของระยะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora* spp. ในธรรมชาติ
2 ศึกษาพัฒนาการและอัตรารอดของปะการัง *Acropora* spp. ระยะการปฏิสนธิถึงระยะการลงเกาะบนพื้นผิว
3. ศึกษาอัตรารอดและการเติบโตของปะการัง *Acropora* spp. ระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ทำการติดตามพัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในกลุ่มปะการังเขากวาง 4 ชนิด ได้แก่ *Acropora humilis*, *Acropora hyacinthus*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* ซึ่งเป็นปะการังที่พบกระจายทั่วไปบริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดยเก็บเซลล์สืบพันธุ์ที่มีการปล่อยตามธรรมชาติที่เกาะเตาหม้อ เกาะปลาหมึก และแนวปะการังเขาหมาจอ มาทำการปฏิสนธิและอนุบาลในระบบเลี้ยงบนบก ศึกษาพัฒนาการในแต่ละระยะตั้งแต่หลังการปฏิสนธิจนถึงระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว และทำการอนุบาลตัวอ่อนปะการังเป็นเวลา 9 เดือน พร้อมประเมินอัตรารอดและอัตราการเติบโต

1.5 เอกสารอ้างอิง

<u>ภาษาไทย</u>

ทนงศักดิ์ จันทร์เมธากุล. 2545. ฤดูกาลปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังแข็งบริเวณเกาะภูเก็ต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 82 หน้า.

ธรรมศักดิ์ ยีมิน. 2541. การลงเกาะของตัวอ่อนปะการังในอ่าวไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 177 หน้า.

ธรรมศักดิ์ ยีมิน. 2543. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของปะการังชนิด *Acropora hyacinthus* ในอ่าวไทย. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยรามคำแหง 3 (2): 96-119.

มณฑิรา ถาวรยุติการต์. 2532. การศึกษาฤดูกาลสืบพันธุ์และช่วงเวลาปล่อยไข่ของปะการังบางชนิดโดยวิธี Histology ที่บริเวณเกาะค้างคาว จังหวัดชลบุรี. ปัญหาพิเศษนิสิตปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 40 หน้า.

ลลิตา ปัจฉิม. 2548. ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายตัวของตัวอ่อนกับกระแสน้ำบริเวณจังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 61 หน้า.

ลลิตา ปัจฉิม, สุชนา ชวนิชย์, ศุภิชัย ตั้งใจตรง, วรณพ วิยกาญจน์ และ ธรรมศักดิ์ ยีมิน. 2549. การแพร่กระจายของตัวอ่อนปะการังบริเวณเกาะคราม จังหวัดชลบุรี. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ 5 (1): 35-37.

วรุณพร จิรวัฒน์. 2528. การศึกษาอนุกรมวิธานของปะการังแข็งที่รวบรวมได้จากอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 297 หน้า.

ศรีสกุล ภิรมย์วรากร, ลลิตา ปัจฉิม, นรินทร์รัตน์ คงจันทร์ตรี, รณวัน บุญประกอบ และ อัญชลี จันทร์คง. 2549. ฤดูปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังเขากวาง (สกุล *Acropora*) ในอ่าวไทย. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ 5 (1): 39-49.

อัญชลี จันทร์คง. 2549. ชนิด การกระจายพันธุ์ และโครงสร้างประชาคมของปะการังแข็งสกุล *Acropora* ในอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 155 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

Acosta, A. and S. Zea. 1997. Sexual reproduction of the reef coral *Montastrea cavernosa* (Scleractinia: Faviidae) in the Santa Marta area, Caribbean coast of Columbia. Marine Biology 128: 141-148.

Ammar, M.S.A., E.M. Amin, D.J. Gundacker and W.E.G. Mueller. 2000. One rational strategy for restoration of coral reefs: application of molecular biological tools to select sites for rehabilitation by asexual recruits. Marine Pollution Bulletin 40 (7): 618-627.

Atkinson, S. and M.J. Atkinson. 1992. Detection of estradiol-17β during a mass coral spawn. *Coral Reefs* 11: 33-35.

Babcock, R. and C. Mundy. 1996. Coral recruitment: consequences of settlement choice for early growth and survivorship in two scleractinians. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 206: 179-201.

Babcock, R.C. 1984. Reproduction and distribution of two species of *Goniastrea* (Scleractinia) from the Great Barrier Reef province. Coral Reefs 2: 187-195.

Babcock, R.C., G.D. Bull, P.L. Harrison, A.J. Heyward, J.K. Oliver, C.C. Wallace and B.L. Willis. 1986. Synchronous spawning of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef. Marine Biology 90: 379-394.

Babcock, R.C., B.L. Willis and C.J. Simpson. 1994. Mass spawning of corals on a high latitude coral reef. Coral Reefs 13: 161-169.

Babcock, R.C., A.H. Baird, S. Piromvaragorn, D.P. Thomson and B.L. Willis. 2003. Identification of scleractinian coral recruits from Indo-Pacific reefs. Zoological Studies 42 (1): 211-226.

Baird, A.H. and T.P. Hughes. 2000. Competitive dominance by tabular corals: an experimental analysis of recruitment and survival of understory assemblages. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 251: 117-132.

Baird, A.H., C. Saddler and M. Pitt. 2001. Synchronous spawning of *Acropora* in the Solomon Islands. Coral Reefs 19: 286.

Ball, E.E., D.C. Hayward, J.S. Reece-Hoyes, N.R. Hisop, G. Samuel, R. Saint, P.L. Harrison and D.J. Miller. 2002. Coral development: from classical embryology to molecular control. International Journal of Developmental Biology 46: 671-678.

Birrell, C.L., L.J. McCook and B.L. Willis. 2005. Effects of algal turfs and sediment on coral settlement. Marine Pollution Bulletin 51: 408-414.

Brazeau, D.A., D.F. Gleason and M.E. Morgan. 1998. Self-fertilization in brooding hermaphroditic Caribbean corals: evidence from molecular markers. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 231: 225-238.

Carlon, D.B. 1999. The evolution of mating systems in tropical reef corals. Trends in Ecology and Evolution 14 (12): 491-495.

Carlon, D.B. 2002. Production and supply of larvae as determinants of zonation in a brooding tropical coral. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 268: 33-46.

Carlon, D.B. and R.R. Olsen. 1993. Larval dispersal distance as an explanation for adult spatial pattern in two Caribbean reef corals. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 173 (2): 247-263.

Carroll, A., P. Harrison and M. Adjeroud. 2005. Sexual reproduction of *Acropora* reef corals at Moorea, French Polynesia. Coral Reefs 25 (1): 93-97.

Chou, L.M., S. Sudara, V. Manthachitra, R. Moredee, A. Snidvongs and T. Yeemin. 1991. Temporal variation in a coral reef community at Pattaya Bay, Gulf of Thailand. Environmental Monitoring and Assessment 19: 295-307.

Coll, J.C., B.F. Bowden, G.V. Meehan, G.M. Konig, A.R. Carroll, D.M. Tapiolas, P.M. Alino, A. Heaton, R. de Nys, P.A. Leone, M. Maida, T.L. Aceret, R.H. Willis, R.C. Babcock, B.L. Willis, Z. Florian, M.N. Clayton and R.L. Miller. 1994. Chemical aspects of mass spawning in corals. I. sperm-attractant molecules in the eggs of the scleractinian coral *Montipora digitata*. Marine Biology 118: 177-182.

Connell, J.H., T.P. Hughes, C.C. Wallace, J.E. Tanner, K.E. Harms and A.M. Kerr. 2004. A long-term study of competition and diversity of coral. Ecological Monographs 74 (2): 179-210.

De Graaf, M., G.J. Geertjes and J.J. Videler. 1999. Observations on spawning of scleractinian corals and other invertebrates on the reef of Bonaire (Netherland Antilles, Caribbean). Bulletin of Marine Science 64: 189-194.

Edmunds, P.J., R.D. Gates and D.F. Gleason. 2001. The biology of larvae the reef coral *Porites astreoides* and their response to temperature disturbances. Marine Biology 139: 981-989.

Fabricius, K.E. and J. Metzner. 2004. Scleractinian walls of mouths: Predation on coral larvae by corals. Coral Reefs 23: 245-248.

Fadlallah, Y.H. 1983. Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals. Coral Reefs 2: 129-150.

Fairfull, S.J.L. and V.J. Harriott. 1999. Succession, space and coral recruitment in a subtropical fouling community. Marine and Freshwater Research 50: 235-242.

Fautin, D.G. 2002. Reproduction of cnidaria. Canadian Journal of Zoology 80: 1735–1754.

Fitzhardinge, R.C. and J.H. Bailey-Brock. 1989. Colonization of artificial reef materials by corals and other sessile organisms. Bulletin of Marine Science 44: 567-579.

Fukami, H., M. Omori, S. Shimoike, T. Hayashibara and M. Hatta. 2003. Ecological and genetic aspects of reproductive isolation by different spawning times in *Acropora* corals. Marine Biology 142: 679-684.

Fukami, H., A.F. Budd, D.R. Levitan, J. Jara, R. Kersanach and N. Knowlton. 2004. Geographic differences in species boundaries among members of the *Montastrea annularis* complex based on molecular and morphological markers. Evolution 58 (2): 324-337.

Gilg, M.R. and T.J. Hilbish. 2003. The geography of marine larval dispersal: coupling genetics with fine-scale physical oceanography. Ecology 84 (11): 2989-2998.

Gleason, M.G. 1996. Coral recruitment in Moorea, French Polynesia: the importance of patch type and temporal variation. Journal of Experimental Marine and Ecology 207: 79-101.

Glynn, P.W., N.J. Gassman, C.M. Eakin, J. Cortes, D.B. Smith and H.M. Guzman. 1991. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos islands (Ecuador). I Pocilloporidae. Marine Biology 109: 355-368.

Guest, J.R., A.H. Baird, B.P.L. Goh and L.M. Chou. 2005. Reproductive seasonality in an equatorial assemblage of scleractinian corals. Coral Reefs 24: 112-116.

Guzman, H.M. and I. Holst. 1993. Effects of chronic oil-sediment pollution on the reproduction of the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*. Marine Pollution Bulletin 26 (5): 276-282.

Harii, S., M. Omori, H. Yamakawa and Y. Koike. 2001. Sexual reproduction and larval settlement of the zooxanthellate coral *Alveopora japonica* Eguchi at high latitudes. Coral Reefs 20: 19-23.

Harii, S., H. Kayanne, H. Takigawa, T. Hayashibara and M. Yamamoto. 2002. Larval survivorship, competency periods and settlement of two brooding corals, *Haliopora coerulea* and *Pocillopora damicornis*. Marine Biology 141: 39-46.

Harrison, P.L., R.C. Babcock, G.D. Bull, J.K. Oliver, C.C. Wallace and B.L. Willis. 1984. Mass spawning in tropical reef corals. Science 223: 1186-1189.

Harrison, P.L. and C.C. Wallace. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian coral. *In* Coral Reefs. Edited by Z. Dubinsky. Amsterdum: Elsevier, pp. 133-207.

Hatta, M., H. Fukami, W. Wang, M. Omori, K. Shimoike, T. Hayashibara, Y. Ina and T. Sugiyama. 1999. Reproductive and genetic evidence for a reticulate evolutionary history of mass-spawning corals. Molecular Biology and Evolution 16 (11): 1607-1613.

Hatta, M., K. Iwao, H Taniguchi and M. Omori. 2004. Restoration technology using sexual reproduction. *In* Manual for restoration and remediation of coral reefs. Edited by Omori., M. and S. Fujiwara. Nature Conservation Bureau. Ministry of the Environment. Japan. pp. 14-28.

Hayashi, T. and F. Iwase. 2006. Artificial breeding method of *Acropora hyacinthus* (Scleractinia, Cnidaria). Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium 1684-1688.

Hayashibara, T., K. Shimoike, T. Kimura, S. Hosaka, A. Hayward, P. Harrison, K. Kudo and M. Omori. 1993. Patterns of coral spawning at Akajima island, Okinawa, Japan. Marine Ecology Progress Series 101: 253-262.

Hayashibara, T., S. Ohike and Y. Kakinuma. 1997. Embryonic and larval development and planula metamorphosis of four gamete-spawning *Acropora* (Anthozoa, Scleractinia). Proceedings of 8th International Coral Reef Symposium 2: 1231-1236.

Hayashibara, T., K. Iwao and M. Omori. 2004. Induction and control of spawning in Okinawa staghorn corals. Coral Reefs 23: 406-409.

Hayward, D.C., D.J. Miller and E.E. Ball. 2004. Snail expression during embryonic development of the coral *Acropora*: blurring the diploblast/ triploblast divide?. Development Genes and Evolution 214: 257-260.

Heyward, A.J. and R.C. Babcock. 1986. Self-and cross-fertilization in scleractinian corals. Marine Biology 90: 191-195.

Heyward, A.J. and A.P. Negri. 1999. Natural inducers for coral larval metamorphosis. Coral Reefs 18: 273-279.

Heyward, A.J., L.D. Smith, M. Rees and S.N. Field. 2002. Enhancement of coral recruitment by *in situ* mass culture of coral larvae. Marine Ecology Progress Series 230: 113-118.

Highsmith, R.C. 1982. Reproductive by fragmentation in corals. Marine Ecology Progress Series 7: 207-226.

Hirose, M., R.A. Kinzie III and M. Hidaka. 2000. Early development of zooxanthella-containing eggs of the corals *Pocillopora verrucosa* and *P. eydouxi* with special reference to the distribution of zooxanthellae. Biological Bulletin 199: 68-75.

Hunte, W. and M. Wittenberg. 1991. Effects of eutrophication and sedimentation on juvenile corals. Marine Biology 114: 1432-1793.

Iwao, K., T. Fujisawa and M. Hatta. 2002. A cnidarian neuropeptide of the GLWamide family induces metamorphosis of reef-building corals in the genus *Acropora*. Coral Reefs 21 (2): 127-129.

Jaap, W.C. 2000. Coral reef restoration. Ecological Engineering 15: 345-364.

Knowlton, N., L.A. Weigt, L.A. Solorsano, D.K. Mills and E. Bermingham. 1993. Divergence in proteins mitrochondrial DNA and reproductive compatibility across the Isthmus of Panama. Science 260: 1629-1631.

Kojis, B.L. and N.J. Quinn. 1981. Aspect of sexual reproduction and larval development in the shallow water hermatypic coral. *Goniastrea australensis* (Edward and Haime, 1857). Bulletin of Marine Science 31 (3): 558-573.

Kolinski, S.P. and E.F. Cox. 2003. An update on modes and timing of gamete and planula release in Hawaiian scleractinian corals with implications for conservation and management. Pacific Science 57 (1): 17-27.

Lane, A. and P.L. Harrison. 2002. Effects of oil contaminants on survivorship of larvae of the scleractinian reef corals *Acropora tenuis, Goniastrea aspera* and *Platygyra sinensis* from the Great Barrier Reef. Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium 1: 403-408.

Leitz, T. 1993. Biochemical and cytological bases of metamorphosis in *Hydractinia echinata*. Marine Biology 116: 559-564.

Levitan, D.R., H. Fukami, J. Jara, D. Kline, T.M. McGovern, K.E. McGhee, C.A. Swanson and N. Knowlton. 2004. Mechanism of reproductive isolation among sympatric broadcast-spawning corals of the *Montastrea annularis* species complex. Evolution 58 (2): 308-323.

Lewis, J.B. 1974. The settlement behavior of planulae larvae of the hermatypic coral *Favia fragum* (Esper). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 15: 165-172.

Loya, Y. and B. Rinkevich. 1980. Effects of oil pollution on coral reef communities. Marine Ecology Progress Series 3: 167-180.

Loya, Y., H. Lubinevsky, M. Rosenfeld and E. Kramarsky-Winter. 2004. Nutrient enrichment caused by in situ fish farms at Eilat, Red Sea is detrimental to coral reproduction. Marine Pollution Bulletin 49: 344-353.

Maida, M., P.W. Sammarco and J.C. Coll. 1995. Effects of soft corals on scleractinian coral recruitment. I: directional allelopathy and inhibition of settlement. Marine Ecology Progress Series 121: 191-202.

Mangubhai, S. and P.L. Harrison. 2006. Seasonal patterns of coral reproduction on equatorial reefs in Mombasa, Kenya. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium 106-114.

Mangubhai, S., A. Harris and N.J.K. Graham. 2006. Synchronous daytime spawning of the solitary coral *Fungia danai* (Fungiidae) in the Chagos Archipelago, central Indian Ocean. Coral Reefs 26: 15.

Marquez, L.M., M.J.H. van Open, B.L. Willis, A. Reyes and D.J. Miller. 2002a. The highly cross-fertile coral species, *Acropora hyacinthus* and *Acropora cytherea*, constitute statistically distinguishable lineages. Molecular Ecology 11: 1339-1349.

Marquez, L.M., M.J.H. van Open, B.L. Willis and D.J. Miller. 2002b. Sympatric populations of the highly cross-fertile coral species *Acropora hyacinthus* and *Acropora cytherea* are genetically distinct. Proceedings of the Royal Society of London Biological 269: 1289-1294.

Marshall, D.J. and M.J. Keough. 2003. Variation in the dispersal potential of non-feeding invertebrate larvae: the desperate larva hypothesis and larval size. Marine Ecology Progress Series 255: 145-153.

Martin, V.J. and W.E. Archer. 1997. Stages in larval development and stem cell population changes during metamorphosis of a hydrozoan planula. Biological Bulletin 192: 41–52.

Martin, V.J. and R. Koss. 2002. Phylum cnidaria. *In* Atlas of marine invertebrate larvae. Chap. 3. Edited by C.M. Young, M.A. Sewell and M.E. Rice. London: Academic Press, pp. 51-95.

McCormick, M.I. 2003. Consumption of coral propagules after mass spawning enhances larval quality of damselfish through maternal effect. Oecologia 136: 37-45.

Miller, K. and R.C. Babcock. 1997. Conflicting morphological and reproductive species boundaries in the coral genus *Platygyra*. Biological Bulletin 192: 98-110.

Morse, A.N.C., K. Iwao, M. Baba, K. Shimoike, T. Hayashibara and M. Omori. 1996. An ancient chemosensory mechanism brings new life to coral reefs. Biological Bulletin 191: 149-154.

Morse, D.E., N. Hooker, A.N.C. Morse and R.A. Jensen. 1988. Control of larval metamorphosis and recruitment in sympatric agariciid corals. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 116: 193-217.

Morse, D.E. and A.N.C. Morse. 1991. Enzymatic characterization of the morphogen recognized by *Agaricia humilis* (scleractinian coral) larvae. Biological Bulletin 181: 104-122.

Morse, D.E., A.N.C. Morse, P.T. Raimondi and N. Hooker. 1994. Morphogen-based chemical flypaper for *Agaricia humilis* (scleractinian coral) larvae. Biological Bulletin 181: 104-122.

Muko, S., K. Sakai and Y. Iwasa. 2001. Dynamic of marine sessile organisms with space-limited growth and recruitment: application to corals. Journal of Theoretical Biology 210: 67-80.

Muller, W.A. and T. Leitz. 2002. Metamorphosis in cnidaria. Canadian Journal of Zoology 80: 1755–1771.

Negri, A.P. and A.J. Heyward. 2001. Inhibition of coral fertilization and larval metamorphosis by tributyltin and copper. Marine Environmental Research 51: 17-27.

Negri, A.P., N.S. Webster, R.T. Hill and A.J. Heyward. 2001. Metamorphosis of broadcast spawning corals in response to bacteria isolated from crustose algae. Marine Ecology Progress Series 223: 121-131.

Negri, A.P., L.D. Smith, N.S. Webster and A.J. Heyward. 2002. Understanding ship-grounding impacts on the coral reef: potential effect of anti-foulant paint contamination on coral recruitment. Marine Pollution Bulletin 44: 111-117.

Nozawa, Y. and P.L. Harrison. 2002. Larval settlement patterns, dispersal potential, and the effect of temperature on settlement of larvae of the reef coral, *Platygyra deadalea*, from the Great Barrier Reef. Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium 1: 409-415.

Nozawa, Y., M. Tokeshi and S. Nojima. 2006. Reproduction and recruitment of scleractinian corals in a high-latitude coral community, Amakusa, southwestern Japan. Marine Biology 149: 1047-1058.

Okamoto, M., S. Nojima, Y. Furushima and W.C. Phoel. 2005. A basic experiment of coral culture using sexual reproduction in the open sea. Fisheries Science 71: 263-270.

Oliver, J.K., R.C. Babcock, P.L. Harrison and B.L. Willis. 1988. Geographic extent of mass coral spawning: clues to ultimate causal factors. Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium 2: 803-810.

Omori, M. 2005. Success of mass culture of *Acropora* corals from egg to colony in open water. Coral Reefs 24: 563.

Omori, M., H. Fukami , H. Kobinata and M. Hatta. 2001. Significant drop of fertilization of *Acropora* corals in 1999: an after-effect of heavy coral bleaching?. Limnology and Oceanography 46 (3): 704-706.

Oren, U. and Y. Benayahu. 1997. Transplantation of juvenile corals: a new approach for enhancing colonization of artificial reefs. Marine Biology 127: 499-505.

Palumbi, S.R. 1994. Genetic divergence, reproductive isolation, and marine speciation. Annual Review of Ecology and Systematics 25: 547-572.

Penland, L., J. Kloulechad, D. Idip and R. van Woesik. 2004. Coral spawning in the western Pacific Ocean is related to solar insolation: evidence of multiple spawning events in Palau. Coral Reefs 23: 133-140.

Petersen, D. and R. Tollrian. 2001. Methods to enhance sexual recruitment for restoration of damaged reefs. Bulletin of Marine Science 69: 989-1000.

Petersen, D., M. Laterveer and H. Schuhmacher. 2005. Spatial and temporal variation in larval settlement of reefbuilding corals in mariculture. Aquaculture 249: 317-327.

Phongsuwan, N. 1994. Taxonomy of scleractinian corals (Coerenterata-Anthozoa) of the Adang-Rawi Island Group, Tarutao National Park, Thailand: Part I: genus *Acropora*. Phuket Marine Biological Center Research Bulletin 59: 11-26.

Pineda, J. 2000. Linking larval settlement to larval transport: assumptions, potentials, and pitfalls. Oceanography of the Eastern Pacific 1: 84-105.

Pires, D.O., C.B. Castro and C.C. Ratto. 1999. Reef coral reproduction in the Abrolhos Reef Complex, Brazil: the endemic genus *Mussismilia*. Marine Biology 135: 463-471.

Plathong, S., T. Chanmethakul, V. Suwonno, P. Buaphet, A.H. Baird, C.A. Chen and S. Soontornpitakkol. 2006. Daytime gamete release from the reef-building coral, *Pavona* sp., in the Gulf of Thailand. Coral Reefs 25:72.

Plickert, G., E. Schetter, N. Verhey-van-Wijk, J. Schlossherr, M. Steinbuchel and M. Gajewski. 2003. The role of α-amidated neuropeptides in hydroid development – LWamides and metamorphosis in *Hydractinia echinata*. International Journal of Developmental Biology 47: 439-450.

Raymundo, L.J.H., A.P. Maypa and M.M. Luchavez. 1999. Coral seeding as a technology for recovering degraded coral reefs in the Philipines. Phuket Marine Biological Center Special Publication 20: 81-92.

Richmond, R.H. 1990. Relationships among reproductive mode, biogeographic distribution patterns and evolution in scleractinian corals. Advances in invertebrate reproduction ,5. Amsterdam: Elsevier, pp. 237-243.

Richmond, R.H. 1997. Reproduction and recruitment in corals: critical links in the persistence of reefs. *In* Life and death of coral reefs. Chap. 8. Edited by C. Birkeland. New York: Chapman&Hall, pp. 175-197.

Richmond, R.H. and C.L. Hunter. 1990. Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the tropical Pacific and the Red Sea. Marine Ecology Progress Series 60: 185-203.

Rinkevich, B. and Y. Loya. 1979. Laboratory experiments on the effects of crude oil on the Red Sea coral *Stylophora pistillata*. Marine Pollution Bulletin 10: 328-330.

Sakai, K. 1997. Delayed maturation in the colonial coral *Goniastrea aspera* (Scleractinia): whole-colony mortality, colony growth and polyp egg production. Population Ecology 40 (3): 287-292.

Sakai, K. 1998. Effect of colony size, polyp size, and budding mode on egg production in a colonial coral. Biological Bulletin 195: 319-325.

Sakai, K.A., T. Yeemin, M. Nishihira and K. Yamazato. 1986. Distribution and community structure of hermatypic corals in the Sichang Island, inner part of the Gulf of Thailand. Galaxia 5 (1): 27-74.

Sammarco, P.W. 1982. Polyp bail-out: an escape response to environmental stress and a new means of reproduction in corals. Marine Ecology Progress Series 10: 57-65.

Sato, M. 1985. Mortality and growth of juvenile coral *Pocillopora damicornis* (Linneaus). Coral Reefs 4: 27-33.

Schwarz, J.A., D.A. Krupp and V.M. Weis. 1999. Late larval development and onset of symbiosis in the scleractinian coral *Fungia scutaria*. Biological Bulletin 196: 70-79.

Smith, L.D. and T.P. Hughes. 1999. An experimental assessment of survival, reattachment and fecundity of coral fragments. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 235: 147-164.

Steinberg, P.D., R.D. Nys and S. Kjelleberg. 2002. Chemical cues for surface colonization. Journal of Chemical Ecology 28 (10): 1935-1951.

Stoddart, J.A. 1983. Asexual production of planulae in the coral *Pocillopora damicornis*. Marine Biology 76: 279-284.

Suzuki G. and T. Hayashibara. 2006. Inhibition of settlement and metamorphosis in *Acropora* (Anthozoa, Scleractinia) larvae by high-intensity light. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium 1627-1630.

Szmant, A.M. and N.J. Gassman. 1990. The effects of prolonged bleaching on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. Coral Reefs 8: 217-224.

Szmant, A.M., E. Weil, M.W. Miller and D.E. Colon. 1997. Hybridization within the species complex of the scleractinian coral *Montastrea annularis* and *M. cavernosa*. Marine Ecology Progress Series 74: 13-15.

Szmant, A.M. and M.G. Meadows. 2006. Developmental changes in coral larval buoyancy and vertical swimming behavior: implications for dispersal and connectivity. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium 431-437.

Szmant-Froelich, A. 1985. The effect of colony size on the reproductive ability of the Caribbean coral *Montastrea annularis* (Ellis and Solander). Proceedings of 5th International Coral Reef Congress 4: 295-300.

Tanner, J.E. 1995. Competition between scleractinian corals and macroalgae: an experimental investigation of coral growth, survival and reproduction. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 190: 151-168.

Tomascik, T. 1991. Settlement patterns of Caribbean scleractinian corals on artificial substrata along a eutrophication gradient, Barbados, West Indies. Marine Ecology Progress Series 77: 261-269.

Tomascik, T. and F. Sander. 1987. Effects of eutrophication on reef-building corals. III. Reproduction of the reef-building coral *Porites porites*. Marine Biology 94: 77-94.

Torrents, O., J. Garrabou, C. Marschal and J.G. Harmelin. 2004. Age and size at first reproduction in the commercially exploited red coral *Corallium rubrum* (L.) in the Marseilles area (France, NW Mediterranean). Biological Conservation 121 (3): 391-397.

Twan, W.H., J.S. Hwang and C.F. Chang. 2003. Sex steroids in scleractinian coral, *Euphyllia ancora*: the implication in mass spawning. Biology of Reproduction 68: 2255-2260.

Twan, W.H., J.S. Hwang, Y.H. Lee, H.F. Wu, Y.H. Tung and C.F. Chang. 2006. Hormones and reproduction in scleractinian corals. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 144: 247-253.

Van Oppen, M.J.H., B.L. Willis, T. van Rheede and D.J. Miller. 2002. Spawning times, reproductive compatibilities and genetic structuring in the *Acropora aspera*

group: evidence for natural hybridization and semi-permeable species boundaries in corals. Molecular Biology 11 (8): 1363-1376.

Van Oppen, M.J.H., E.M. Koolmees and J.E.N. Veron. 2004. Patterns of evolution in the scleractinian coral genus *Montipora* (Acroporidae). Marine Biology 144: 9-18.

Van Woesik, R. 1995. Coral communities at high latitude are not pseudopopulations: evidence of spawning at 32 ° N, Japan. Coral Reefs 14: 119-120.

Veron, J.E.N. 1986. Corals of Australia and the Indo-Pacific. North Ryde: Angus and Robertson, 644 p.

Villanueva, R.D., H.T. Yap and M.N.E. Montano. 2005. Survivalship of coral juveniles in a fish farm environment. Marine Pollution Bulletin 51: 580-589.

Ward, S. 1992. Evidence for broadcast spawning as well as brooding in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. Marine Biology 112: 641-646.

Ward, S. and P. Harrison. 2000. Changes in gametogenesis and fecundity of acroporid corals that were exposed to elevated nitrogen and phosphorus during the ENCORE experiment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 246: 179-221.

Willis, B.L. and J.K.O. Oliver. 1990. Direct tracking of coral larvae: implications for dispersal studies of planktonic larvae in topographically complex environments. Ophelia 32: 145-162.

Willis, B.L., R.C. Babcock, P.L. Harrison and C.C. Wallace. 1997. Experimental hybridization and breeding incompatibilities within the mating system of mass spawning reef corals. Coral Reefs 16: s53-s65.

Wilson, J.R. and P.L. Harrison. 2003. Spawning patterns of scleractinian corals at the Solitary islands – a high latitude coral community in eastern Australia. Marine Ecology Progress Series 260: 115-123.

Wolstenholme, J.K., C.C. Wallace and C.A. Chen. 2003. Species boundaries within the *Acropora humilis* species group (Cnidaria; Scleractinia: a morphological and molecular interpretation of evolution. Coral Reefs 22: 155-166.

Yeemin, T., M. Sutthacheep and R. Pettongma. 2006. Coral reef restoration projects in Thailand. Ocean and Coastal Management 49: 562-575.

Yep, H.T. and R.A. Molina. 2003. Comparison of coral growth and survival under enclosed semi-natural conditions and in the field. Marine Pollution Bulletin 46: 858-864.

Zaslow, R.B. and Y. Benayahu. 1996. Longevity, competence and energetic content in planulae of the soft coral *Heteroxenia fuscescens*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 206: 55-68.

บทที่ 2

การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ในธรรมชาติ

ในการเพาะขยายพันธุ์และ/หรือการเพาะเลี้ยงสิ่งมีชีวิตต่างๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความเข้าใจถึงชีววิทยาการสืบพันธุ์ (reproductive biology) ประวัติชีวิต (life history) และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตนั้น ดังนั้น การศึกษาอัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ในระบบเลี้ยงครั้งนี้ จึงได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็น เช่น วงจรการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ รวมถึง ช่วงเวลาและวิธีการในการเก็บเซลล์สืบพันธุ์ เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ทั้งปัจจัยทางกายภาพ ชีวภาพ รวมถึงปัจจัยเฉพาะของพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากข้อมูลการศึกษาภายในประเทศมีจำกัด เพื่อนำเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้จากธรรมชาติมาทำการปฏิสนธิและอนุบาลต่อในระบบเลี้ยงต่อไป

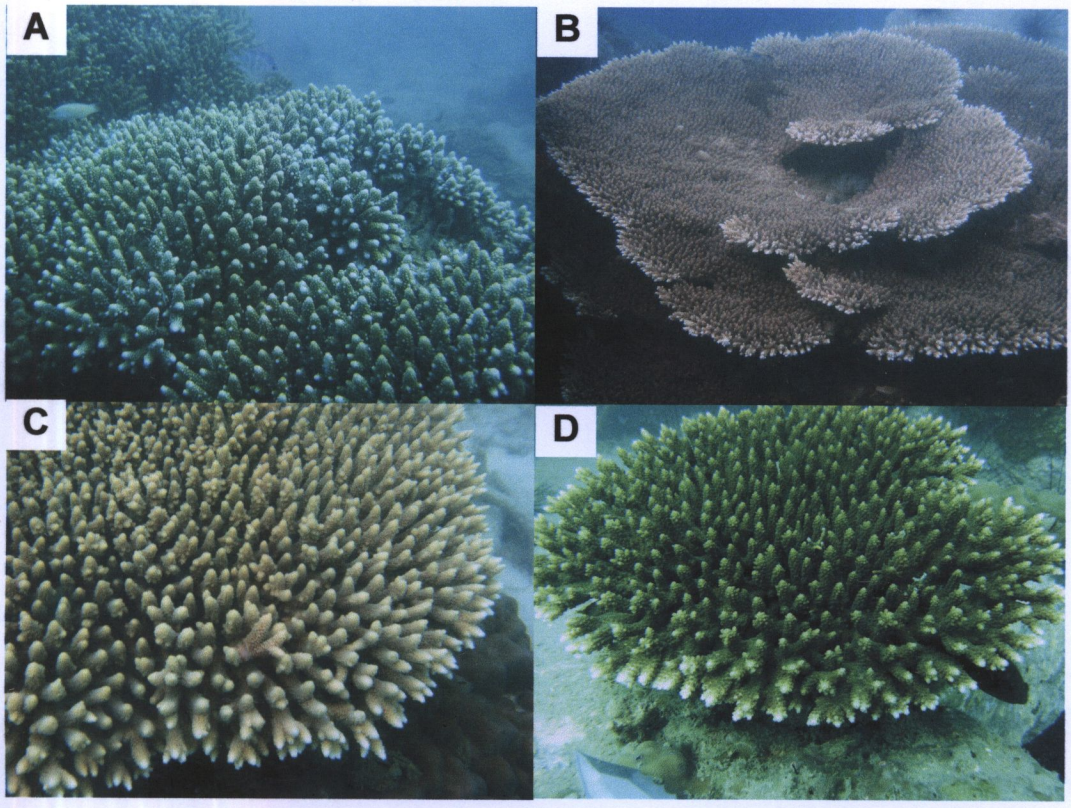
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

2.1.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา

ศึกษาการสร้างและการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังเขากวาง *Acropora* spp. (staghorn corals) จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Acropora humilis*, *Acropora hyacinthus*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* (รูปที่ 2.1) ซึ่งเป็นกลุ่มปะการังที่พบกระจายทั่วไปในพื้นที่ศึกษา

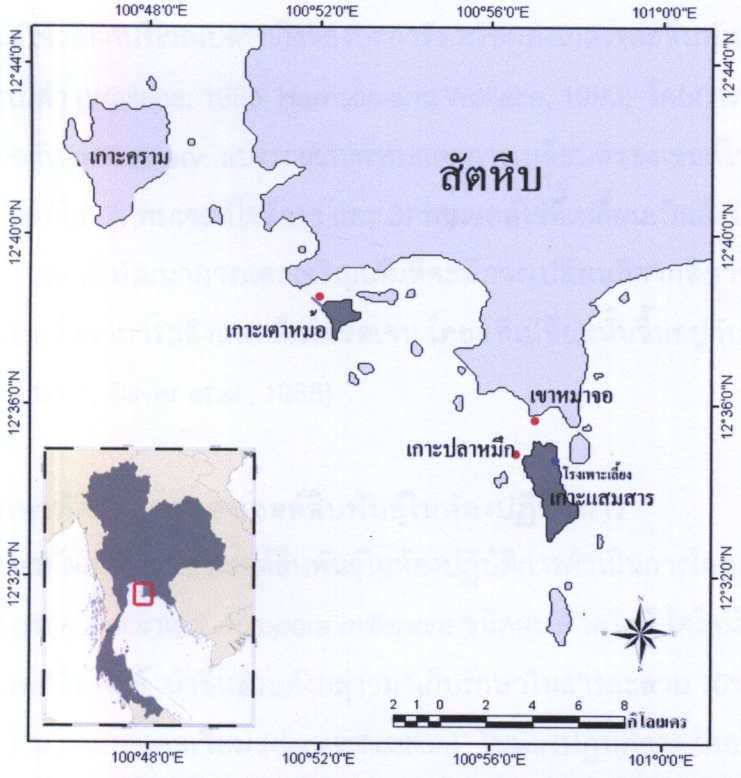
2.1.2 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ แนวปะการังบริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี รวม 3 พื้นที่ คือ 1) ปะการังที่ขึ้นบนแนวกันคลื่นด้านทิศตะวันออกของเกาะเตาหม้อ (TMO) 2) แนวปะการังเขาหมาจอ (MCHO) และ 3) แนวปะการังเกาะปลาหมึก (MUK) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา

A: *Acropora humilis*; B: *Acropora hyacinthus*; C: *Acropora millepora* และ D: *Acropora nasuta*



รูปที่ 2.2 พื้นที่ศึกษา

2.1.3 ขั้นตอนการศึกษา

แบ่งขั้นตอนการศึกษาตามระยะพัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง รวม 3 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง 2) ระยะการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง และ 3) ระยะหลังการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ปะการังสู่มวลน้ำ โดยทำการศึกษาทั้งในธรรมชาติและ/หรือห้องปฏิบัติการ

2.1.3.1 ระยะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง (gamete development stage)

(1) การติดตามการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในธรรมชาติ

ศึกษาการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในธรรมชาติโดยการดำสำรวจใต้น้ำแบบ SCUBA diving เดือนละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 2 รอบปี (2548/2549 และ 2549/2550) แบ่งเป็น ติดตามการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora humilis*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* ชนิดละ 25 – 45 โคโลนี ที่บริเวณแนวกันคลื่น เกาะเตาหม้อ ในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550 และติดตามปะการัง *Acropora hyacinthus* ที่บริเวณแนวปะการัง เกาะปลาหมึก 3 โคโลนี และ เขาหมาจอ 4 โคโลนี ในรอบปี 2549/2550 การตรวจสอบพัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ใช้วิธีหักบริเวณปลายกิ่งของปะการัง พร้อมสังเกตเซลล์สืบพันธุ์ที่พบซึ่งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (Wallace, 1985; Harrison and Wallace, 1990) โดยการสังเกตสีของเซลล์ไข่บริเวณเนื้อเยื่อชั้น mesentery แบ่งระยะการพบและการเปลี่ยนสีของเซลล์ไข่ออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 1) ไม่พบเซลล์ไข่ 2) พบเซลล์ไข่สีขาว และ 3) พบเซลล์ไข่ที่เปลี่ยนเป็นสีเข้มหรือชัดขึ้น ทั้งนี้เซลล์ไข่ของปะการังที่มีพัฒนาการและเจริญเต็มที่จะมีการเปลี่ยนสีจากสีขาว เป็นสีชมพู แดง น้ำตาล หรือ เขียว ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน โดยสีที่เปลี่ยนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของปะการัง (Harrison *et al.*, 1984; Oliver *et al.*, 1988)

(2) การศึกษาพัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาพัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ในห้องปฏิบัติการดำเนินการโดยเก็บชิ้นส่วนของกิ่งปะการัง *Acropora humilis* และ *Acropora millepora* ชนิดละ 5 โคโลนี โคโลนีละ 5 กิ่ง ภายหลังการสังเกตพบเซลล์สืบพันธุ์ นำชิ้นส่วนดังกล่าวมาเก็บรักษาในสารละลาย 10% ฟอร์มาลินในน้ำทะเล จากนั้นนำมาสลายแคลเซียม (decalcification) ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารละลายกรดฟอร์มิก-โซเดียมซิเทรต (formic acid-sodium citrate solution) เพื่อศึกษาพัฒนาการของเซลล์ไข่

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ไข่และประเมินความดกไข่ (fecundity) ต่อโพลิบขณะที่เซลล์ไข่มีพัฒนาการภายในโพลิบ ทั้งนี้ สุ่มวัดขนาดของเซลล์ไข่และประเมินความดกไข่จากโพลิบจำนวน 3 โพลิบในตัวอย่างข้างต้น โดยวัดขนาดของเซลล์ไข่ทุกเดือนภายหลังพบเซลล์สืบพันธุ์ และประเมินความดกของไข่เฉพาะเดือนสุดท้ายก่อนปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์

2.1.3.2 **ระยะการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง** (spawning stage)

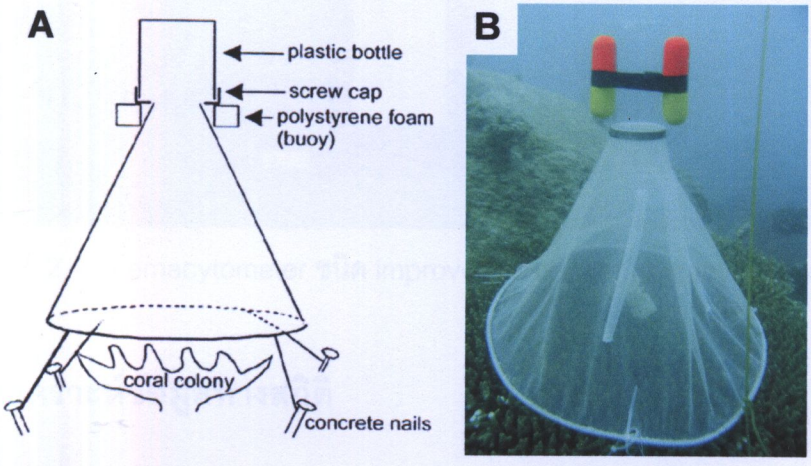
หลังจากที่เซลล์ไข่ของปะการัง *Acropora* มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์จากการสังเกตสีของไข่ที่เปลี่ยนให้เห็นอย่างชัดเจน การเปลี่ยนสีดังกล่าวบ่งบอกถึงกำหนดการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังที่ใกล้เข้ามา (Hatta *et al.*, 2004) ทั้งนี้ ความพร้อมของเซลล์สืบพันธุ์จะสมบูรณ์สูงสุดเมื่อสังเกตเห็นถุงสเปิร์ม (sperm packet) ของปะการัง ที่ทำให้คาดการณ์ช่วงเวลาที่ปะการังทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกสู่มวลน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับวิถีของดวงจันทร์ในช่วงเวลาหลังข้างขึ้น/แรม 15 ค่ำ ถัดไป (Richmond and Hunter; 1990) ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเฝ้าติดตามการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังทั้ง 4 ชนิด ด้วยการดำสำรวจใต้น้ำแบบ SCUBA diving ในพื้นที่ศึกษา ระหว่างเวลา 1700 – 2100 น. ตั้งแต่แรมหรือขึ้น 1 ค่ำ ภายหลังการพบถุงสเปิร์ม จนกระทั่งปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ บันทึกช่วงเวลาที่สามารถสังเกตเห็นฝักของเซลล์สืบพันธุ์ (bundle) ที่พร้อมปล่อยออกสู่มวลน้ำ ซึ่งอยู่บริเวณปากโพลิบ ที่เรียกว่า setting time รวมถึง เวลาที่ปะการังเริ่มปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ (spawning time) และเวลาที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์แล้วเสร็จ (finishing time)

2.1.3.3 **ระยะหลังการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังสู่มวลน้ำ**

(1) **ลักษณะของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังระยะหลังการปล่อยสู่มวลน้ำ**

ศึกษาลักษณะเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด ในรอบปี 2549/2550 หลังการปล่อยสู่มวลน้ำ โดยใช้วิธีการและอุปกรณ์เก็บเซลล์สืบพันธุ์ (gamete collector) ที่ดัดแปลงมาจาก Kitada (2002) อุปกรณ์ดังกล่าวใช้โครงสแตนเลสทำเป็นห่วงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร เย็บติดกับตาข่ายโพลีเอททีลีน (polyethylene) ขนาดตา 300 ไมโครเมตร ส่วนบนต่อกับกระบอกพลาสติกที่ใช้เป็นส่วนที่เก็บเซลล์สืบพันธุ์ (รูปที่ 2.3) วางอุปกรณ์เก็บเซลล์สืบพันธุ์บนส่วนของโคโลนีปะการังที่มีขนาดความกว้างสูงสุดมากกว่า 40 เซนติเมตร ติดตามการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังจำนวน 2 – 30 โคโลนีขึ้นอยู่กับจำนวนปะการังในแต่ละพื้นที่ เมื่อปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เรียบร้อย จึงเก็บเซลล์สืบพันธุ์โดยการปิดส่วนกระบอกเก็บเซลล์สืบพันธุ์ขณะ

อยู่ใต้น้ำ ทำการเคลื่อนย้ายขึ้นจากน้ำและนำมาบรรจุในถังอนุบาล ณ โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการังชั่วคราว อย่างระมัดระวัง ทั้งนี้ เก็บอุปกรณ์เก็บเซลล์สืบพันธุ์ทุกครั้งหลังเก็บสืบพันธุ์ รวมถึงในกรณีที่ไม่พบการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงการทำความเสียหายต่อปะการัง



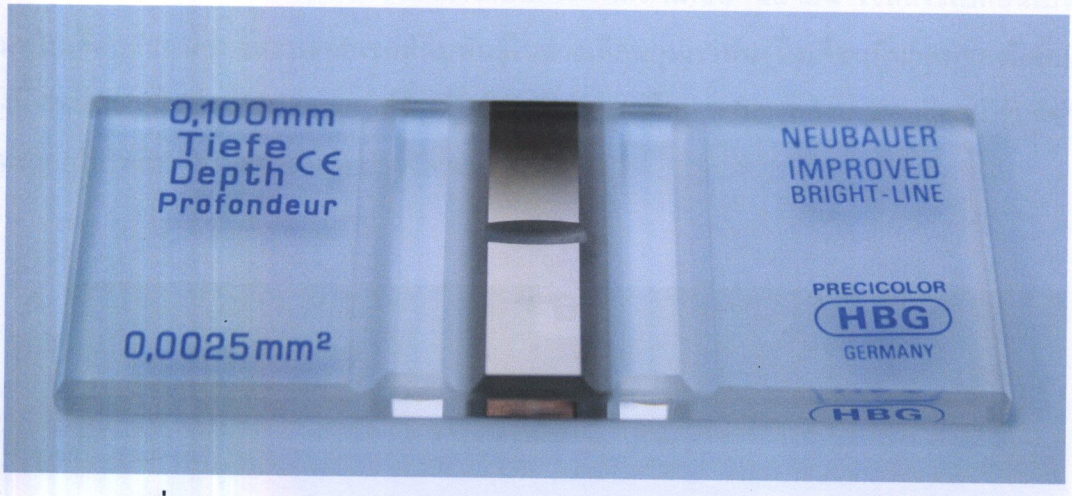
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เก็บเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง

A: อุปกรณ์เก็บเซลล์สืบพันธุ์ปะการังของ Kitada (2002) และ B: อุปกรณ์เก็บเซลล์สืบพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา

(2) **ขนาดของเซลล์สืบพันธุ์ ความดกของไข่ และความหนาแน่นของสเปิร์ม**

นำฝักเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora humilis* จำนวน 10 โคโลนี และ *Acropora millepora* จำนวน 2 โคโลนี มาบรรจุแยกกันในถังอนุบาลขนาด 200 ลิตร สุ่มเก็บตัวอย่างฝักเซลล์สืบพันธุ์ดังกล่าวจำนวน 21 และ 13 ฝัก ตามลำดับ มาศึกษาขนาด ความดกของไข่ และความหนาแน่นของสเปิร์มที่อยู่ภายในฝักเซลล์สืบพันธุ์ดังกล่าว นอกจากนั้น ทำการศึกษาขนาดของไข่ของปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด (ชนิดละ 2 – 10 โคโลนี) ภายหลังที่เซลล์ไข่ได้แตกตัวจากฝักของเซลล์สืบพันธุ์ก่อนทำการปฏิสนธิกับสเปิร์ม

การประเมินความหนาแน่นของสเปิร์ม ใช้ hemacytometer ชนิด improved neubauer hemacytometer (รูปที่ 2.4) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างฝักของเซลล์สืบพันธุ์ลงในขวดเก็บตัวอย่างที่บรรจุน้ำทะเลปริมาตร 8 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้ก้อนของเซลล์สืบพันธุ์แตกออกจากกัน เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร เพื่อยับยั้งการเคลื่อนที่ของสเปิร์ม จากนั้นจึงนับความหนาแน่นของสเปิร์มบนแผ่นสไลด์ และนำมาคำนวณกลับเป็นจำนวนเซลล์ต่อฝักของเซลล์สืบพันธุ์



รูปที่ 2.4 hemacytometer ชนิด improved neubauer hemacytometer

2.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ One Way ANOVA และ Tukey-Pairwise Mean Comparison เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความดกไข่ในโพลิปปะการังระหว่างปะการังแต่ละชนิดที่ทำการศึกษา

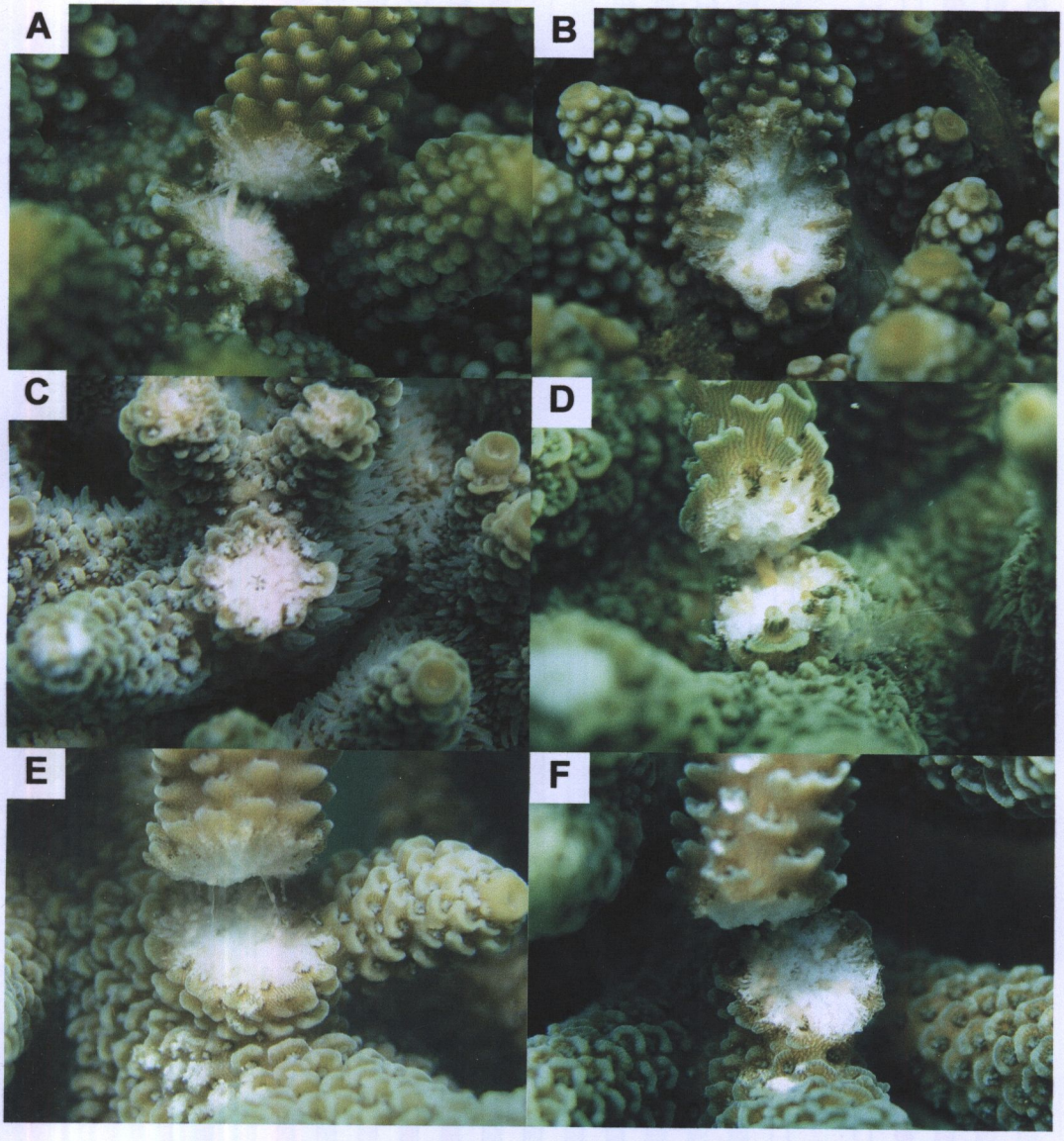
2.2 ผลการศึกษา

2.2.1 ระยะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง

2.2.1.1 พัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังในธรรมชาติ

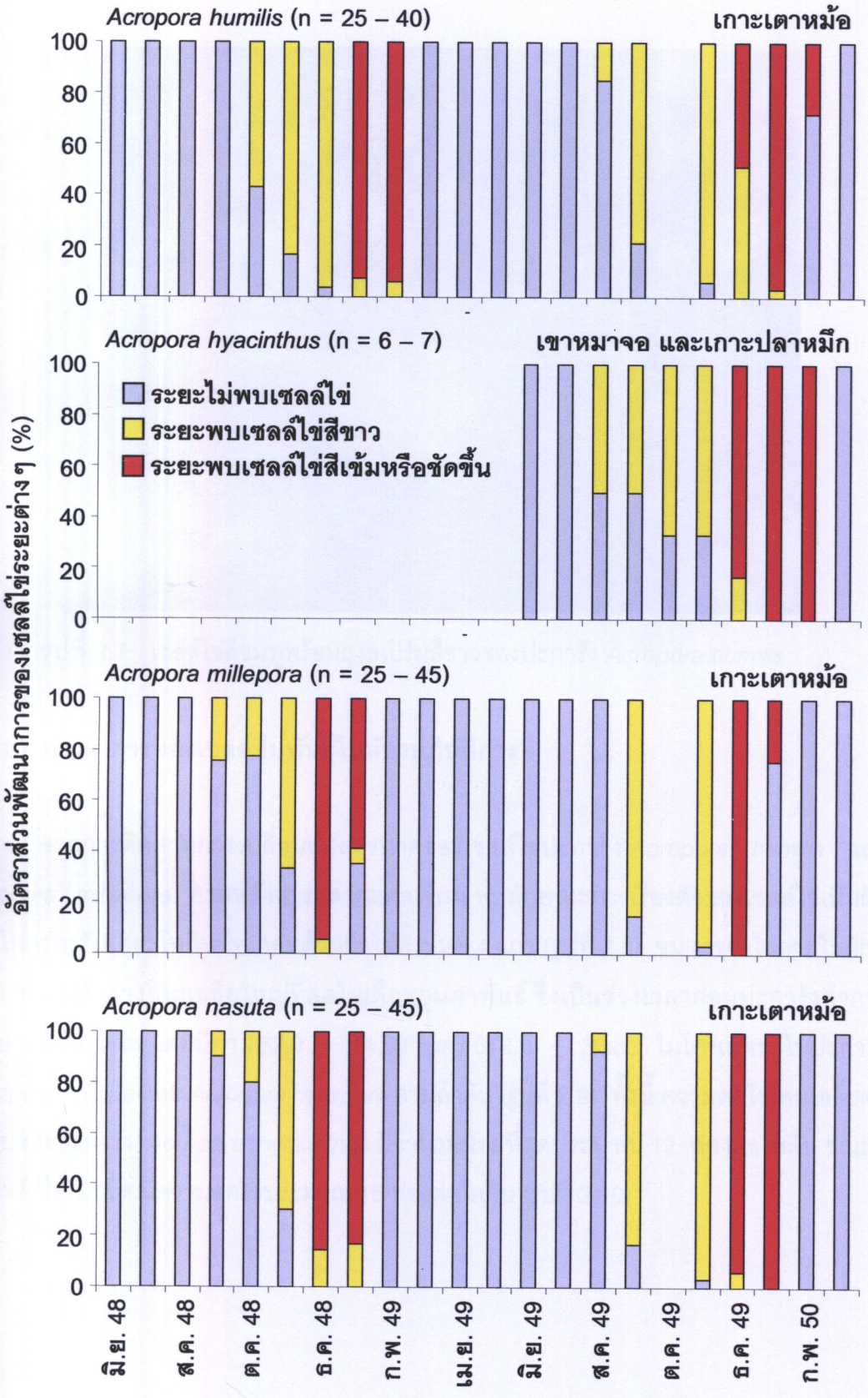
ผลการสังเกตสีของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังด้วยสายตาในพื้นที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 2.5 พบว่าปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด มีช่วงเวลาพัฒนาการเซลล์สืบพันธุ์ในระยะที่ใกล้เคียงกันในแต่ละระยะ (รูปที่ 2.6) โดยใช้เวลาทั้งสิ้นในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ประมาณ 5–6 เดือน ทั้งนี้ พบเซลล์ไข่สีขาวของปะการัง *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* ครั้งแรกในช่วงเดือนกันยายน และเซลล์ไข่เปลี่ยนเป็นสีชมพูในเดือนธันวาคม จากนั้นจึงปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีต่อมา สำหรับการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora humilis* และ *Acropora hyacinthus* สามารถสังเกตเห็นภายหลังปะการัง 2 ชนิดแรกประมาณ 1

เดือน โดยเริ่มมองเห็นเซลล์ไข่สีขาวในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน เซลล์ไข่เปลี่ยนเป็นสีชมพูในเดือนธันวาคม และปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคมของปีต่อมา ทั้งนี้ ก่อนปะการังทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ประมาณ 1 เดือน สามารถสังเกตพบถุงสเปิร์มสีขาวแทรกอยู่ในโพลิบของปะการังได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.5 ระยะของเซลล์ไข่ปะการังที่เป็นสีขาวและสีชมพูจากการสังเกตด้วยสายตาใต้น้ำ

A: เซลล์ไข่ปะการัง *Acropora humilis* สีขาว และ B: สีชมพู; C: เซลล์ไข่ปะการัง *Acropora hyacinthus* สีขาว และ D: สีชมพู; และ E: เซลล์ไข่ปะการัง *Acropora millepora* สีขาว และ F: สีชมพู



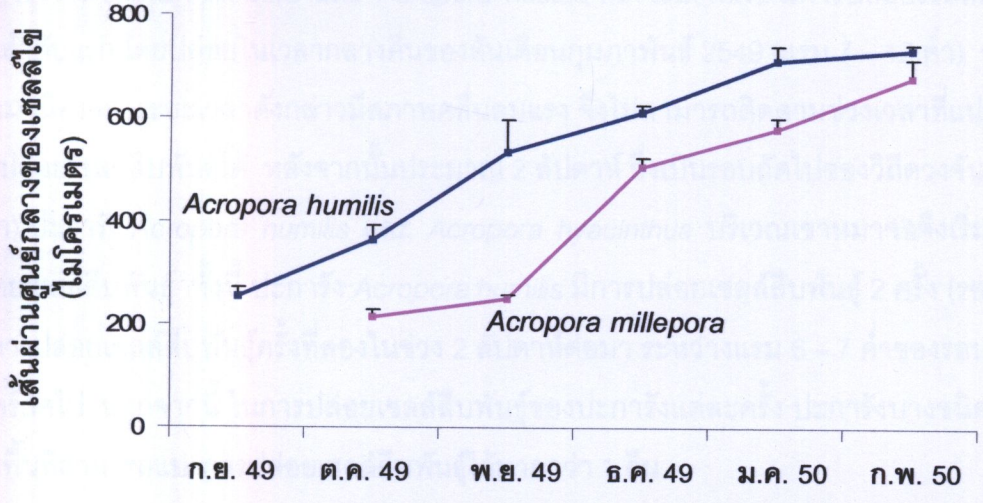
รูปที่ 2.6 อัตราส่วนของเซลล์ไข่ปะการังระยะต่างๆ ที่พบและไม่พบจากการติดตามในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550

รูปที่ 2.7 เซลล์ไข่สีชมพูพร้อมถุงสเปิร์มสีขาวของปะการัง *Acropora humilis*

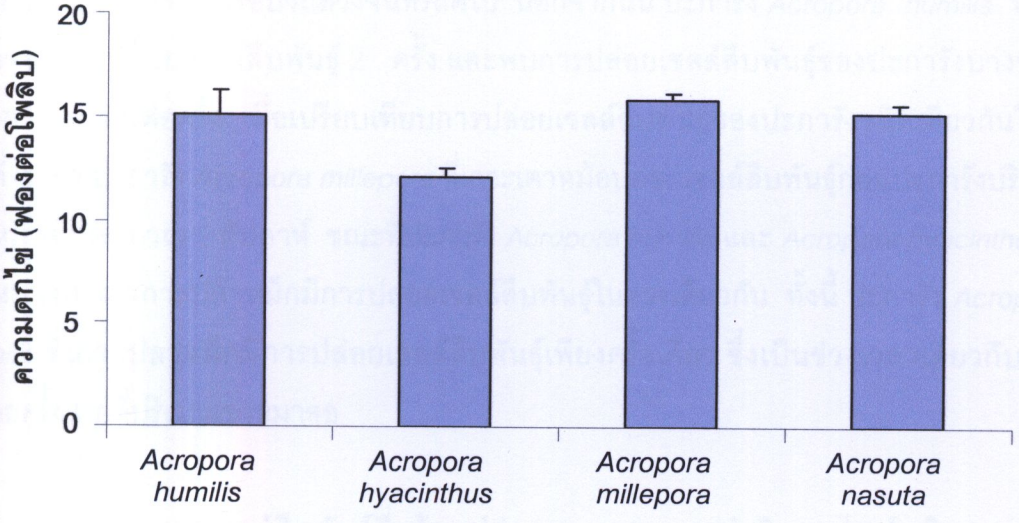
2.2.1.2 **พัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ**

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงขนาดของเซลล์ไข่ปะการัง *Acropora humilis* และ *Acropora millepora* ภายหลังการสลายแคลเซียม พบลักษณะการเรียงตัวของเซลล์ไข่เป็นฝัก โดยในปะการังแต่ละโพลิบประกอบด้วยฝักไข่ทั้งหมด 4 แถว (รูปที่ 2.8) ขนาดของไข่ภายในฝักมีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยใหญ่ที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนปะการังทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ โดยมีค่า 732.0 $\pm$ 11.56 และ 678.2 $\pm$ 36.35 ไมโครเมตร ในปะการัง *Acropora humilis* และ *Acropora millepora* ตามลำดับ (รูปที่ 2.9) ทั้งนี้ ความดกไข่โดยเฉลี่ยต่อโพลิบของปะการัง *Acropora hyacinthus* มีจำนวนน้อยที่สุดประมาณ 12 ฟองต่อโพลิบ ขณะที่ปะการังอีก 3 ชนิด มีความดกไข่ประมาณ 15 ฟองต่อโพลิบ (รูปที่ 2.10)

รูปที่ 2.8 ลักษณะเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora humilis* ที่ผ่านกระบวนการสลายแคลเซียม
A: โพลิบปะการังหลังผ่านกระบวนการสลายแคลเซียม; B: ภาพตัดขวางของฝักไข่ในโพลิบปะการัง; และ
C: ลักษณะการเรียงตัวของเซลล์สืบพันธุ์ในโพลิบปะการัง



รูปที่ 2.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของเซลล์ไข่ *Acropora humilis* และ *Acropora millepora* ระยะหลังการสังเกตเห็นด้วยสายตาในรอบปี 2549/2550 ระหว่างเดือนกันยายน 2549 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2550 (n = 5x5x3)



รูปที่ 2.10 ความดกไข่ต่อโพลิปโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด ในรอบปี 2549/2550 ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ก่อนปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ (n = 5x5x3)

2.2.2 ระยะการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง

ผลการศึกษาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* 4 ชนิด ของทั้ง 2 รอบปี (2548/2549 และ 2549/2550) แสดงในตารางที่ 2.1 โดยในรอบปีที่หนึ่ง (2548/2549) พบว่า ปะการัง *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* ที่เกาะเตาหม้อ มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เป็นลำดับแรก โดยปล่อยในเวลากลางคืนของต้นเดือนกุมภาพันธ์ 2549 (แรม 7 – 12 ค่ำ) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระยะเวลาดังกล่าวมีสภาพคลื่นลมแรง จึงไม่สามารถติดตามช่วงเวลาที่แน่นอนในการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ได้ หลังจากนั้นประมาณ 2 สัปดาห์ ซึ่งเป็นรอบถัดไปของวิถีดวงจันทร์ (ขึ้น 6 ค่ำ) ปะการัง *Acropora humilis* และ *Acropora hyacinthus* บริเวณเขาหมาจอจึงเริ่มทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ ทั้งนี้ ปะการัง *Acropora humilis* มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ 2 ครั้ง (รอบ) โดยทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ครั้งที่สองในช่วง 2 สัปดาห์ต่อมา ระหว่างแรม 6 – 7 ค่ำของรอบวิถีดวงจันทร์ถัดไป นอกจากนี้ ในการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังแต่ละครั้ง ปะการังบางชนิดหรือในบางพื้นที่สามารถแบ่งการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ได้มากกว่า 1 คืน

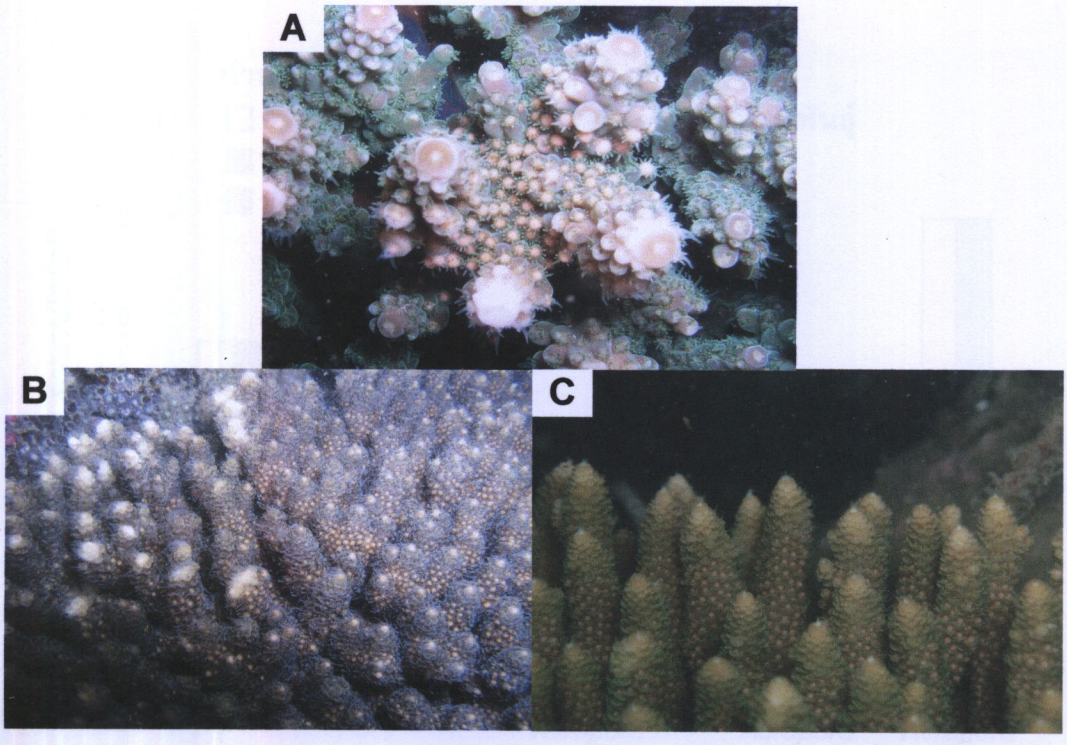
สำหรับผลการศึกษาในรอบปี 2549/2550 (ตารางที่ 2.1) พบว่า มีความสอดคล้องกับการศึกษาในรอบปี 2548/2549 โดยปะการัง *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* ที่เกาะเตาหม้อปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในคืนแรม 7 ค่ำของต้นเดือนกุมภาพันธ์ ขณะที่ปะการัง

Acropora humilis และ *Acropora hyacinthus* ที่เขาหมาจอปล่อยเซลล์สืบพันธุ์หลังจากนั้นประมาณ 2 สัปดาห์ ในรอบวิถีดวงจันทร์ถัดไป นอกจากนั้น ปะการัง *Acropora humilis* ที่เขาหมาจอมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ 2 ครั้ง และพบการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังบางชนิดมากกว่า 1 คืนต่อครั้ง เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังชนิดเดียวกันใน 2 พื้นที่ พบว่า ปะการัง *Acropora millepora* ที่เกาะเตาหม้อปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ก่อนปะการังบริเวณเขาหมาจอประมาณ 2 สัปดาห์ ขณะที่ปะการัง *Acropora humilis* และ *Acropora hyacinthus* ที่เขาหมาจอและเกาะปลาหมึกมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงเดียวกัน ทั้งนี้ ปะการัง *Acropora humilis* ที่เกาะปลาหมึกมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เพียงครั้งเดียว ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับการปล่อยครั้งแรกที่บริเวณเขาหมาจอ

ลักษณะของเซลล์สืบพันธุ์ที่พร้อมปล่อยขณะออกมาอยู่บริเวณปากโพลิบสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนแสดงในรูปที่ 2.11 โดยเซลล์ดังกล่าวมีเยื่อบางๆ ปิดอยู่ ช่วงเวลาการปล่อยเกิดขึ้นหลังดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าประมาณ 1 – 3 ชั่วโมง ระหว่าง 1920 – 1950 น. ในรอบปี 2548/2549 และ 1830 – 1930 น. ในรอบปี 2549/2550 (ตารางที่ 2.1) หลังจากนั้นประมาณ 30 – 60 นาที ปะการังจึงทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ โดยการบีบตัวเพื่อให้ฝักของเซลล์สืบพันธุ์หลุดออกมา (รูปที่ 2.12) ทั้งนี้ ช่วงเวลาที่ปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์อยู่ระหว่าง 2000–2120 น. และ 2005–2150 น. ในรอบปีที่ 2548/2549 และ 2549/2550 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.1) อนึ่ง อัตราการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังทั้งหมดที่ติดตามคิดเป็นร้อยละ 100 โดยอัตราดังกล่าวรวมถึงปะการังที่มีการปล่อยมากกว่า 2 คืนในแต่ละครั้ง (ตารางที่ 2.1) และปะการังที่มีการแบ่งการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกเป็น 2 ครั้งในรอบปี (รูปที่ 2.13)

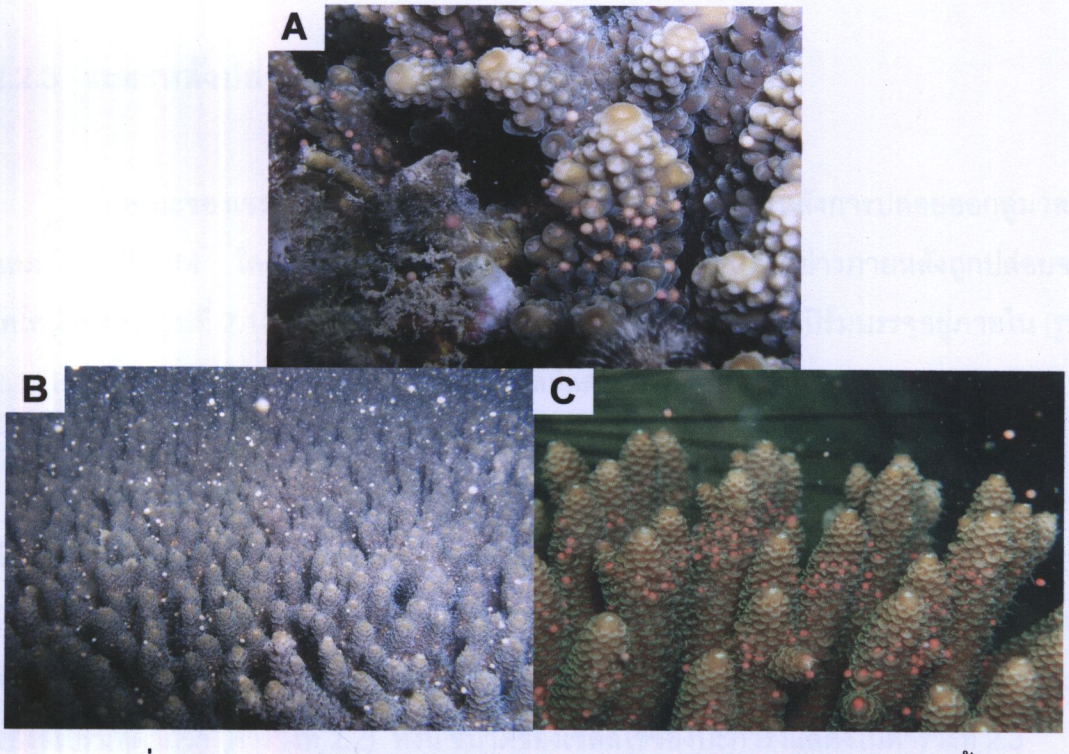
ตารางที่ 2.1 ช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* ในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550

รอบปี	ชนิดปะการัง	วันที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	ข้างขึ้น/แรม	เวลาที่ปะการังพร้อมปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	ช่วงเวลาปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	พื้นที่ศึกษา	จำนวนโคโลนีที่ติดตาม (n)
2548/2549	*Acropora humilis*	18–19 กุมภาพันธ์ 2549	ขึ้น 6–7 ค่ำ	1950	2000 – 2100	เขาหมาจอ	17
		5–6 มีนาคม 2549	แรม 6–7 ค่ำ	1930	2000 – 2100	เขาหมาจอ	6
	Acropora hyacinthus	18 กุมภาพันธ์ 2549	ขึ้น 6 ค่ำ	1920	2040 – 2120	เขาหมาจอ	3
	Acropora millepora	5–10 กุมภาพันธ์ 2549	แรม 7–12 ค่ำ			เกาะเตาหม้อ	10
	Acropora nasuta	5–10 กุมภาพันธ์ 2549	แรม 7–12 ค่ำ			เกาะเตาหม้อ	10
2549/2550	*Acropora humilis*	24–28 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 7–11 ค่ำ	1915	2010 – 2100	เขาหมาจอ	16
		24–28 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 7–11 ค่ำ	1915	2010 – 2100	เกาะปลาหมึก	6
		9 มีนาคม 2550	แรม 5 ค่ำ	1930	2005 – 2050	เขาหมาจอ	4
	Acropora hyacinthus	26 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 9 ค่ำ	1920	2030 – 2050	เขาหมาจอ	3
		26 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 9 ค่ำ	1920	2030 – 2050	เกาะปลาหมึก	3
	Acropora millepora	9 กุมภาพันธ์ 2550	แรม 7 ค่ำ	1830	2035 – 2130	เกาะเตาหม้อ	11
		25 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 8 ค่ำ	1830	2035 – 2135	เขาหมาจอ	2
	Acropora nasuta	9–10 กุมภาพันธ์ 2550	แรม 7–8 ค่ำ	1830	2050 – 2150	เกาะเตาหม้อ	30



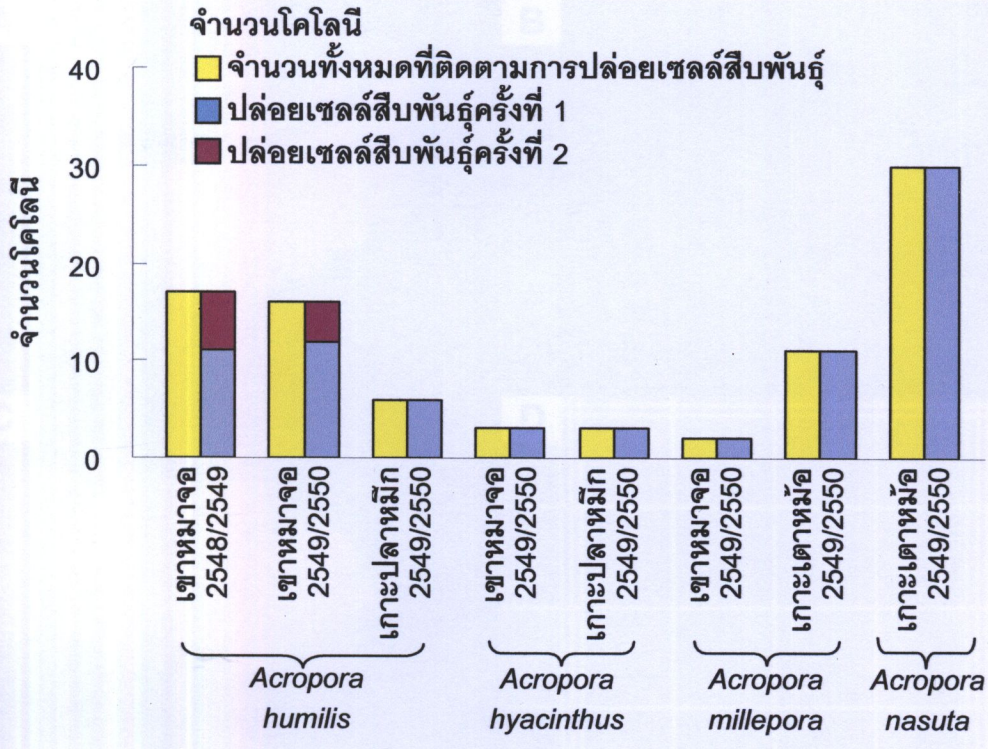
รูปที่ 2.11 เซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* ที่พร้อมปล่อยขณะอยู่ที่บริเวณปากโพลิบ

A: *Acropora humilis*; B: *Acropora hyacinthus*; และ C: *Acropora millepora*



รูปที่ 2.12 เซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* ขณะถูกปล่อยออกสู่มวลน้ำ

A: *Acropora humilis*; B: *Acropora hyacinthus*; และ C: *Acropora millepora*

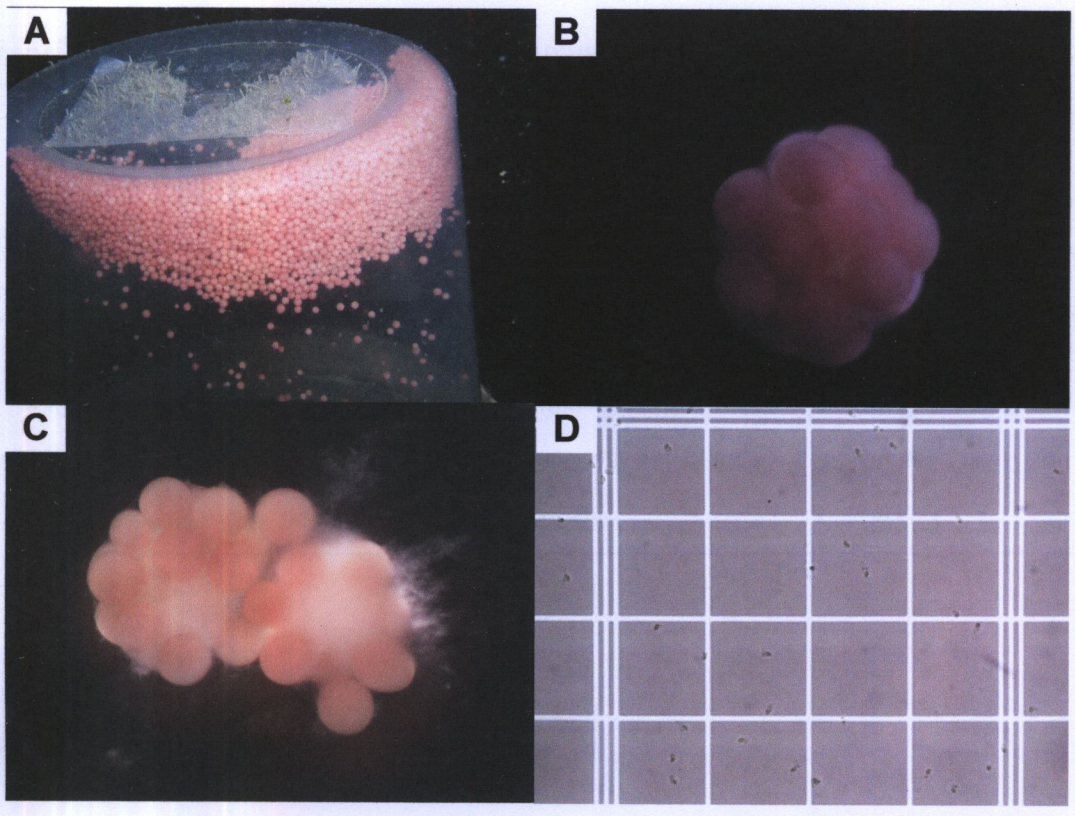


รูปที่ 2.13 อัตราการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* ที่มีการติดตามในแต่ละพื้นที่ของสองรอบปี (n = 2 – 30)

2.2.3 ระยะหลังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังสู่มวลน้ำ

ลักษณะของเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora humilis* ภายหลังการปล่อยออกสู่มวลน้ำแสดงในรูปที่ 2.14 โดยฝักเซลล์สืบพันธุ์ที่ถูกเก็บในกระบอกเก็บตัวอย่างภายหลังถูกปล่อยจากโคโลนีแสดงในรูปที่ 2.14 A ฝักดังกล่าวประกอบด้วยเซลล์ไข่และถุงสเปิร์มบรรจุอยู่ภายใน (รูปที่ 2.14 B – C) และลักษณะของสเปิร์มบนแผ่นสไลด์แสดงในรูปที่ 2.14 D

ขนาดของฝักเซลล์สืบพันธุ์ ความดกของไข่ และความหนาแน่นของสเปิร์มในฝักเซลล์สืบพันธุ์ ภายหลังที่ถูกปล่อยออกสู่มวลน้ำ มีความแตกต่างกันตามชนิดของปะการัง (ตารางที่ 2.2) โดยปะการัง *Acropora humilis* มีค่าเฉลี่ยของขนาดฝักเซลล์สืบพันธุ์ที่ 2,410.7 ไมโครเมตร และจำนวนไข่ 11.9 ฟอง/ฝักเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งสูงกว่าปะการัง *Acropora millepora* แต่มีความหนาแน่นของสเปิร์มที่ต่ำกว่า (ตารางที่ 2.2) ทั้งนี้ ขนาดของเซลล์ไข่ของปะการังแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.14 ลักษณะเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora humilis* ภายหลังการปล่อยออกสู่มวลน้ำ
A: ฝักเซลล์สืบพันธุ์ภายในกระบอกเก็บเซลล์สืบพันธุ์; B: เซลล์ไข่ของปะการังภายในฝักของเซลล์สืบพันธุ์;
C: ถุงสเปิร์มสีขาวซึ่งแทรกอยู่ระหว่างเซลล์ไข่ภายในฝักเซลล์สืบพันธุ์; และ D: สเปิร์มของปะการังบนแผ่นสไลด์

ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ย (± S.E) ของขนาดฝักเซลล์สืบพันธุ์ ความดกไข่ และความหนาแน่นของสเปิร์มต่อฝักเซลล์สืบพันธุ์ ภายหลังการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง ในรอบปี 2549/2550

ชนิดปะการัง	ขนาดฝักเซลล์สืบพันธุ์ (ไมโครเมตร)	ความดกไข่ (ฟอง/ฝัก)	ความหนาแน่นสเปิร์ม ($x10^6$ ตัว/ฝัก)	จำนวน (ฝัก/โคโลนี)
Acropora humilis	2,410.7 ± 59.6	11.9 ± 0.4	9.0 ± 0.7	21 / 10
Acropora millepora	1,574.5 ± 39.6	6.4 ± 0.07	10.4 ± 1.22	13 / 2

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ย (± S.E) ของขนาดเซลล์ไข่ภายหลังการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง ในรอบปี 2549/2550

ชนิดปะการัง	ขนาดเซลล์ไข่ (ไมโครเมตร)	จำนวน (ฟอง/โคโลนี)
Acropora humilis	746.6 ± 10.8	25 / 10
Acropora hyacinthus	562.1 ± 13.0	25 / 6
Acropora millepora	673.7 ± 57.1	30 / 2
Acropora nasuta	579.0 ± 41.1	30 / 7

2.3 วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการติดตามการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังเขากวาง 4 ชนิด ได้แก่ *Acropora humilis*, *Acropora hyacinthus*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* บริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550 พบว่า พัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิดมีช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในระยะที่มองเห็นเซลล์ไข่ด้วยสายตาใต้น้ำจนถึงระยะพร้อมปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ใช้เวลาประมาณ 5–6 เดือน พบเซลล์ไข่สีขาวครั้งแรกประมาณเดือนกันยายนหลังจากนั้นสีของเซลล์สืบพันธุ์เปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนถึงสีแดงประมาณเดือนมกราคม ซึ่งการเปลี่ยนสีของเซลล์ไข่ปะการังสามารถแสดงถึงการเจริญเต็มที่ของเซลล์ไข่ปะการัง (Shlesinger *et al.*, 1998) ปะการัง *Acropora humilis* มีช่วงเวลาในการพัฒนาเซลล์สืบพันธุ์ที่ช้ากว่าปะการังอีก 3 ชนิด เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในบริเวณเดียวกันและบริเวณเกาะใกล้เคียงของปะการัง *Acropora humilis* ในปี 2547 และ 2548 (ลลิตา ปัจฉิม, 2548) รวมถึงการศึกษาที่ผ่านมาใน *Acropora hyacinthus* (ธรรมศักดิ์ ยีมิน, 2543) และของปะการังก้อน *Goniopora* และ *Montipora* (มณฑิรา ถาวรยุติการต์, 2532) นอกจากนั้น การที่สามารถสังเกตเห็นถุงสเปิร์มสีขาวของปะการังอย่างชัดเจนก่อนช่วงเวลาปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ประมาณ 1 เดือน เนื่องจากในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังใช้เวลาในการพัฒนาเซลล์ไข่นานกว่าการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ (Richmond and Hunter, 1990; Acosta and Zea, 1997; Pires *et al.*, 1999; Harii *et al.*, 2001) เช่น ปะการังสกุล *Acropora* ใช้เวลาในการพัฒนาเซลล์ไข่ประมาณ 9 เดือน และใช้เวลาในการพัฒนาเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ประมาณ 10

สัปดาห์ (Richmond and Hunter, 1990) ดังนั้น การสังเกตพบถุงสเปิร์มอย่างชัดเจนจึงเป็นระยะที่สามารถคาดการณ์กำหนดเวลาในการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังได้อย่างแน่นอนมากขึ้น

ความดกไข่ของปะการังสามารถใช้เป็นดัชนีที่บ่งบอกความสมบูรณ์ของตัวปะการัง (Kojis and Quinn, 1984; Harrison and Wallace, 1990) และสามารถบ่งบอกถึงสภาพของระบบนิเวศที่ปะการังอาศัยได้เช่นกัน ขนาดและความดกไข่ที่ปะการังสร้างขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น ขนาดหรืออายุของโคโลนีที่มีความพร้อมในการเจริญพันธุ์ (Sakai, 1998; Torrents *et al.*, 2004) ถิ่นอาศัย (Carlon, 2002) สภาพแวดล้อม รวมถึง ปริมาณตะกอน (Ward and Harrison, 2000) เป็นต้น ผลการศึกษาความดกไข่ของปะการังในการศึกษาครั้งนี้มีจำนวน 12 – 22 ฟองต่อโพลิบ ซึ่งจำนวนดังกล่าวน้อยกว่าความดกไข่จากการศึกษาในปะการังชนิดเดียวกัน (Smith and Hughes, 1999) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของพื้นที่ ปัจจัยทางกายภาพ สภาพแวดล้อมของถิ่นอาศัย การที่พื้นที่ทำการศึกษาใกล้แหล่งชุมชนที่มีปริมาณธาตุอาหารในน้ำทะเลในปริมาณสูงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังได้ (Loya *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตาม ไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับความดกไข่ของปะการังภายในประเทศ

ช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* spp. บริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ที่พบในการศึกษาครั้งนี้ (เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม) (ภาคผนวก ก) สอดคล้องกับเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora hyacinthus* บริเวณเกาะค้างคาว จังหวัดชลบุรี (ธรรมศักดิ์ ยีมิน, 2543) และปะการังก้อน บริเวณเกาะคราม จังหวัดชลบุรี (ลลิตา ปัจฉิม และคณะ, 2549) รวมถึง สอดคล้องกับรายงานช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังบริเวณอ่าวไทย (ศรีสกุล ภิรมย์วรากร และคณะ, 2549) ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังบริเวณอ่าวไทยตอนในเป็นแบบฤดูกาลเดียว อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างกันของระยะเวลาที่ปะการังใช้ในการพัฒนาและปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในปี 2548/2549 และ 2549/2550 อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำทะเลในแต่ละรอบปี เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในเรื่องดังกล่าว (Szmant and Gassman, 1990)

นอกจากนั้น ช่วงเวลาที่ปะการังทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เป็นช่วงที่อุณหภูมิของน้ำทะเลโดยเฉลี่ยเริ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในรอบปีสูงสามารถพบการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์มากในช่วงเวลาดังกล่าว (Mangubhai and Harrison; 2006) ทั้งนี้ ถึงแม้ว่าการศึกษาครั้งนี้เป็นเขตร้อนที่มีระดับอุณหภูมิของน้ำทะเลในรอบปีที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่พบการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในช่วงที่อุณหภูมิของน้ำทะเลเริ่มสูงขึ้นเช่นกัน

(ภาคผนวก ข) อย่างไรก็ตามในทางตรงกันข้าม จากสมมติฐานที่ว่าปะการังบริเวณเส้นศูนย์สูตรที่มีอุณหภูมิน้ำทะเล (Richmond and Hunter, 1990) และระดับน้ำทะเล (Oliver *et al.*, 1988) แตกต่างกันค่อนข้างน้อย ส่งผลให้ปะการังแต่ละชนิดมีช่วงในการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ค่อนข้างกว้างและไม่พร้อมกัน (Harrison *et al.*, 1984) ซึ่งพบการสร้างและการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังหลายชนิดบริเวณฝั่งทะเลอันดามันที่เกิดขึ้นไม่พร้อมกันเช่นกัน (ทนงศักดิ์ จันทร์เมธากุล, 2545) ดังนั้น พัฒนาการและการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังแบบฤดูกาลเดียวจึงอาจเป็นผลมาจากปัจจัยภายนอกอื่นหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง รวมถึงความเฉพาะของแต่ละพื้นที่

อีกประการหนึ่ง จากการที่ลักษณะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังหลายชนิดที่เกิดขึ้นในระยะเวลาใกล้เคียงกัน แต่ช่วงเวลาที่ปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ไม่พร้อมกัน ซึ่งเรียกว่า asynchronous multi-species spawning นั้น เป็นลักษณะการสืบพันธุ์ที่พบได้ทั่วไปในปะการังส่วนใหญ่ที่อยู่บริเวณเขตศูนย์สูตร การสืบพันธุ์ในลักษณะดังกล่าวทำให้โอกาสเกิดการผสมของเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังต่างชนิดต่ำ (Pires *et al.*, 1999) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาครั้งนี้พบการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังมากกว่า 2 ชนิด ในคืนเดียวกัน เช่น ปะการัง *Acropora florida*, *Acropora humilis* และ *Acropora hyacinthus* หรือปะการัง *Acropora samoensis*, *Favia abdita* และ *Platygyra sinensis* (ภาคผนวก ก) เป็นลักษณะเช่นเดียวกับการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังพร้อมกันมากกว่า 2 ชนิด ในประเทศสิงคโปร์ (Guest *et al.*, 2005) ซึ่งการที่ปะการังหลายชนิดปล่อยเซลล์สืบพันธุ์พร้อมกันนี้มีข้อได้เปรียบในเรื่องการช่วยลดโอกาสการถูกกินจากผู้ล่าอื่น (Babcock *et al.*, 1986)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์กับวิถีของดวงจันทร์และการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำนั้น การศึกษาครั้งนี้ปะการังมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ทั้งข้างขึ้นและข้างแรม ระหว่าง 5 – 12 ค่ำ ซึ่งเป็นช่วงที่ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย (น้ำตาย) (ภาคผนวก ค) การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงเวลานี้ส่งผลให้โอกาสที่เซลล์สืบพันธุ์ของปะการังได้รับการปฏิสนธิระหว่างโคโลนีเพิ่มสูงขึ้น (Babcock *et al.*, 1986) และเป็นการลดโอกาสในการที่ตัวอ่อนถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งที่อาศัย ทั้งนี้ ช่วงเวลาปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังบริเวณนี้แตกต่างกับการศึกษาในต่างประเทศ (Harrison *et al.*, 1984; Babcock *et al.*, 1994) ที่พบว่าปะการังส่วนใหญ่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงหลังคืนที่ดวงจันทร์เต็มดวง

ช่วงเวลาที่ปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora* ส่วนใหญ่เกิดขึ้นหลังดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าประมาณ 1 – 3 ชั่วโมง (1830 – 2150 น.) ซึ่งเป็นเวลาเดียวกับรายงานการ

ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังส่วนใหญ่ (Wilson and Harrison, 2003; Levitan *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตาม มีปะการังจำนวนหนึ่งที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์หลังจากช่วงเวลานั้น ซึ่งอาจเป็นผลของกลไกทางวิวัฒนาการของปะการัง (Fukami *et al.*, 2003) โดยเฉพาะปะการังกลุ่ม *Acropora* ชนิดที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ช้าเป็นพวกที่มีวิวัฒนาการต่ำกว่าพวกที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เร็ว และมีปะการังเพียงไม่กี่ชนิดที่มีการรายงานการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในเวลากลางวัน (Mangubhai *et al.*, 2006; Plathong *et al.*, 2006) ทั้งนี้ การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในเวลากลางคืนช่วยลดปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนด้วย อนึ่ง ความแตกต่างของช่วงวันและเวลาในการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เป็นการลดโอกาสเกิดการผสมข้ามชนิดของปะการัง โดยเฉพาะปะการังในกลุ่มปะการัง *Acropora* ที่มีความหลากหลายสูง ซึ่งทำให้ธรรมชาติสร้างกลไกเรื่องเวลาในการหลีกเลี่ยงการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว (Knowlton, 1993; Palumbi, 1994; van Oppen *et al.*, 2002; 2004; Fukami *et al.*, 2003; Levitan, 2004) รวมถึง ช่วงเวลาที่ปะการังมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ไม่พร้อมกันช่วยทำให้เกิดโอกาสแข่งขันในการหาพื้นที่ลงเกาะของตัวอ่อนปะการังลดลงเช่นกัน (Pires *et al.*, 1999)

สำหรับ การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ที่แบ่งออกเป็น 2 ระยะ เช่น ที่พบในปะการัง *Acropora humilis* ทั้ง 2 รอบปี ซึ่งเกิดขึ้นครั้งที่สองในช่วงวิถีของดวงจันทร์ถัดไป (ประมาณ 2 สัปดาห์ จากการปล่อยครั้งแรก) การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ลักษณะนี้พบได้ในปะการังบางชนิดและมีรายงานในหลายพื้นที่ เช่น ปะการัง *Acropora hyacinthus* ที่ประเทศสิงค์โปร์มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ขณะที่ปะการัง *Acropora humilis* มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ห่างกันครึ่งปี โดยเกิดขึ้นในเดือนตุลาคมและเดือนเมษายน (Guest *et al.*, 2005) การแยกปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในลักษณะนี้เป็นกลไกช่วยลดโอกาสการเกิดความล้มเหลวในการสืบพันธุ์เมื่อเปรียบเทียบกับปะการังที่มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เพียงครั้งเดียว (Bastidas *et al.*, 2005)

ทั้งนี้ การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังชนิด *Acropora millepora* บริเวณเกาะเตาหม้อและเขาหมาจอในรอบปี 2549/2550 ที่มีช่วงเวลาที่ไม่พร้อมกัน อาจเป็นผลมาจากทั้งสองบริเวณอยู่ห่างกัน ทำให้ไม่ได้รับสารเคมีบางชนิดที่มีการปล่อยจากปะการังในคืนที่ปะการังที่เกาะเตาหม้อปล่อยเซลล์สืบพันธุ์พร้อมกัน (Atkinson and Atkinson, 1992; Twan *et al.*, 2003; 2006) หรืออาจเกิดจากความแตกต่างของพื้นที่และปัจจัยทางกายภาพของทั้งสองบริเวณที่มีความแตกต่างกันทำให้มีช่วงเวลาในการพัฒนาเซลล์สืบพันธุ์ที่แตกต่างกันได้เช่นกัน

2.4 รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ทนงศักดิ์ จันทร์เมธากุล. 2545. ฤดูกาลปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังแข็งบริเวณเกาะภูเก็ต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 82 หน้า.

ธรรมศักดิ์ ยีมิน. 2541. การลงเกาะของตัวอ่อนปะการังในอ่าวไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 177 หน้า.

มณฑิรา ถาวรยุติการต์. 2532. การศึกษาฤดูกาลสืบพันธุ์และช่วงเวลาปล่อยไข่ของปะการังบางชนิดโดยวิธี Histology ที่บริเวณเกาะค้างคาว จังหวัดชลบุรี. ปัญหาพิเศษนิสิตปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 40 หน้า.

ลลิตา ปัจฉิม. 2548. ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายตัวของตัวอ่อนกับกระแสน้ำบริเวณจังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 61 หน้า.

ลลิตา ปัจฉิม, สุชนา ชวนิชย์, ศุภิชัย ตั้งใจตรง, วรณพ วิยกาญจน์ และ ธรรมศักดิ์ ยีมิน. 2549. การแพร่กระจายของตัวอ่อนปะการังบริเวณเกาะคราม จังหวัดชลบุรี. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ 5 (1): 35-37.

ศรีสกุล ภิรมย์วรากร, ลลิตา ปัจฉิม, นรินทร์รัตน์ คงจันทร์ตรี, รณวัน บุญประกอบ และ อัญชลี จันทร์คง. 2549. ฤดูปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังเขากวาง (สกุล *Acropora*) ในอ่าวไทย. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ 5 (1): 39-49.

ภาษาอังกฤษ

Acosta, A. and S. Zea. 1997. Sexual reproduction of the reef coral *Montastrea cavernosa* (Scleractinia: Faviidae) in the Santa Marta area, Caribbean coast of Columbia. Marine Biology 128: 141-148.

Atkinson, S. and M.J. Atkinson. 1992. Detection of estradiol-17β during a mass coral spawn. Coral Reefs 11: 33-35.

Babcock, R.C., G.D. Bull, P.L. Harrison, A.J. Heyward, J.K. Oliver, C.C. Wallace and B.L. Willis. 1986. Synchronous spawning of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef. Marine Biology 90: 379-394.

Babcock, R.C., B.L. Willis and C.J. Simpson. 1994. Mass spawning of corals on a high latitude coral reef. Coral Reefs 13: 161-169.

Bastidas, C., A. Croqure, A.L. Zubillaga, R. Ramos, V. Kortnik, C. Weinberger and L.M. Marquez. 2005. Coral mass- and split-spawning at a coastal and an offshore Venezuelan reefs, southern Caribbean. Hydrobiologia 541: 101-106.

Carlon, D.B. 2002. Production and supply of larvae as determinants of zonation in a brooding tropical coral. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 268: 33-46.

Fukami, H., M. Omori, S. Shimoike, T. Hayashibara and M. Hatta. 2003. Ecological and genetic aspects of reproductive isolation by different spawning times in *Acropora* corals. Marine Biology 142: 679-684.

Guest, J.R., A.H. Baird, B.P.L. Goh and L.M. Chou. 2005. Reproductive seasonality in an equatorial assemblage of scleractinian corals. Coral Reefs 24: 112-116.

Harii, S., M. Omori, H. Yamakawa and Y. Koike. 2001. Sexual reproduction and larval settlement of the zooxanthellate coral *Alveopora japonica* Eguchi at high latitudes. Coral Reefs 20: 19-23.

Harrison, P.L., R.C. Babcock, G.D. Bull, J.K. Oliver, C.C. Wallace and B.L. Willis. 1984. Mass spawning in tropical reef corals. Science 223: 1186-1189.

Harrison, P.L. and C.C. Wallace. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian coral. *In* Coral Reefs. Edited by Z. Dubinsky. Amsterdum: Elsevier, pp. 133-207.

Hatta, M., K. Iwao, H. Taniguchi and M. Omori. 2004. Restoration technology using sexual reproduction. *In* Manual for restoration and remediation of coral reefs. Edited by Omori., M. and S. Fujiwara. Nature Conservation Bureau. Ministry of the Environment. Japan. pp. 14-28.

Kitada, H. 2002. Fecundity of *Acropora tenuis* at Akajima island. Midoriishi 13: 26-29. (in Japanese)

Knowlton, N., L.A. Weigt, L.A. Solorsano, D.K. Mills and E. Bermingham. 1993. Divergence in proteins mitrochondrial DNA and reproductive compatibility across the Isthmus of Panama. Science 260: 1629-1631.

Kojis, B.L. and N.J. Quinn. 1984. Seasonal and depth variation in fecundity of *Acropora palifera* at two reefs in Papua New Guinea. Coral Reefs 3: 165-172.

Levitan, D.R., H. Fukami, J. Jara, D. Kline, T.M. McGovern, K.E. McGhee, C.A. Swanson and N. Knowlton. 2004. Mechanism of reproductive isolation among sympatric broadcast-spawning corals of the *Montastrea annularis* species complex. Evolution 58 (2): 308-323.

Loya, Y., H. Lubinevsky, M. Rosenfeld and E. Kramarsky-Winter. 2004. Nutrient enrichment caused by in situ fish farms at Eilat, Red Sea is detrimental to coral reproduction. Marine Pollution Bulletin 49: 344-353.

Mangubhai, S. and P.L. Harrison. 2006. Seasonal patterns of coral reproduction on equatorial reefs in Mombasa, Kenya. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium 106-114.

Mangubhai, S., A. Harris and N.J.K. Graham. 2006. Synchronous daytime spawning of the solitary coral *Fungia danai* (Fungiidae) in the Chagos Archipelago, central Indian Ocean. Coral Reefs 26: 15.

Oliver, J.K., R.C. Babcock, P.L. Harrison and B.L. Willis. 1988. Geographic extent of mass coral spawning: clues to ultimate causal factors. Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium 2: 803-810.

Palumbi, S.R. 1994. Genetic divergence, reproductive isolation, and marine speciation. Annual Review of Ecology and Systematics 25: 547-572.

Pires, D.O., C.B. Castro and C.C. Ratto. 1999. Reef coral reproduction in the Abrolhos Reef Complex, Brazil: the endemic genus *Mussismilia*. Marine Biology 135: 463-471.

Plathong, S., T. Chanmethakul, V. Suwonno, P. Buaphet, A.H. Baird, C.A. Chen and S. Soontornpitakkol. 2006. Daytime gamete release from the reef-building coral, *Pavona* sp., in the Gulf of Thailand. Coral Reefs 25:72.

Richmond, R.H. and C.L. Hunter. 1990. Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the tropical Pacific and the Red Sea. Marine Ecology Progress Series 60: 185-203.

Sakai, K. 1998. Effect of colony size, polyp size, and budding mode on egg production in a colonial coral. Biological Bulletin 195: 319-325.

Shlesinger, Y., T.L. Goulet and Y. Loya. 1998. Reproductive patterns of scleractinian corals in the northern Red Sea. Marine Biology 132:691–701

Smith, L.D. and T.P. Hughes. 1999. An experimental assessment of survival, reattachment and fecundity of coral fragments. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 235: 147-164.

Szmant, A.M. and N.J. Gassman. 1990. The effects of prolonged bleaching on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. Coral Reefs 8: 217-224.

Torrents, O., J. Garrabou, C. Marschal and J.G. Harmelin. 2004. Age and size at first reproduction in the commercially exploited red coral *Corallium rubrum* (L.) in the Marseilles area (France, NW Mediterranean). Biological Conservation 121 (3): 391-397.

Twan, W.H., J.S. Hwang and C.F. Chang. 2003. Sex steroids in scleractinian coral, *Euphyllia ancora*: the implication in mass spawning. Biology of Reproduction 68: 2255-2260.

Twan, W.H., J.S. Hwang, Y.H. Lee, H.F. Wu, Y.H. Tung and C.F. Chang. 2006. Hormones and reproduction in scleractinian corals. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 144: 247-253.

Van Oppen, M.J.H., B.L. Willis, T. van Rheede and D.J. Miller. 2002. Spawning times, reproductive compatibilities and genetic structuring in the Acropora aspera group: evidence for natural hybridization and semi-permeable species boundaries in corals. Molecular Biology 11 (8): 1363-1376.

Van Oppen, M.J.H., E.M. Koolmees and J.E.N. Veron. 2004. Patterns of evolution in the scleractinian coral genus *Montipora* (Acroporidae). Marine Biology 144: 9-18.

Wallace, C.C. 1985. Seasonal peaks and annual fluctuations in recruitment of juvenile scleractinian corals. Marine Ecology Progress. Series 21: 289–298.

Ward, S. and P. Harrison. 2000. Changes in gametogenesis and fecundity of acroporid corals that were exposed to elevated nitrogen and phosphorus during the ENCORE experiment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 246: 179-221.

Wilson, J.R. and P.L. Harrison. 2003. Spawning patterns of scleractinian corals at the Solitary islands – a high latitude coral community in eastern Australia. Marine Ecology Progress Series 260: 115-123.

บทที่ 3

พัฒนาการและอัตรารอดของปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ระยะการปฏิสนธิถึงระยะการลงเกาะบนพื้นผิว

ศึกษาพัฒนาการปะการัง *Acropora* spp. ตั้งแต่ระยะที่เซลล์สืบพันธุ์ได้รับการปฏิสนธิจนถึงระยะการลงเกาะบนพื้นผิว โดยการนำเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังที่ได้จากการปล่อยตามธรรมชาติมาปฏิสนธิและอนุบาลต่อในระบบเลี้ยง ศึกษาพัฒนาการของปะการังภายหลังที่เซลล์ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิจนกระทั่งเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำภายใต้กล้องจุลทรรศน์และกระบวนการทางเนื้อเยื่อวิทยา ประเมินอัตราการปฏิสนธิและอัตรารอดของตัวอ่อนปะการังระยะว่ายน้ำ รวมทั้งประเมินอัตราการลงเกาะของตัวอ่อน ทั้งนี้ ผลการศึกษานำมาปรับปรุงใช้ในการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะต่อไป

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา

ทำการศึกษาในปะการัง *Acropora* จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Acropora humilis*, *Acropora hyacinthus*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* เช่นเดียวกับการศึกษาในหัวข้อ 2.1.1 (รูปที่ 2.1)

3.1.2 พื้นที่ศึกษา

นำเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง *Acropora* spp. จากบริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ทั้ง 3 พื้นที่ (เกาะเตาหม้อ เขาหมาจอ และ เกาะปลาหมึก รูปที่ 2.2) มาทำการปฏิสนธิและอนุบาล ณ โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการังชั่วคราว เกาะแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี (รูปที่ 3.1)

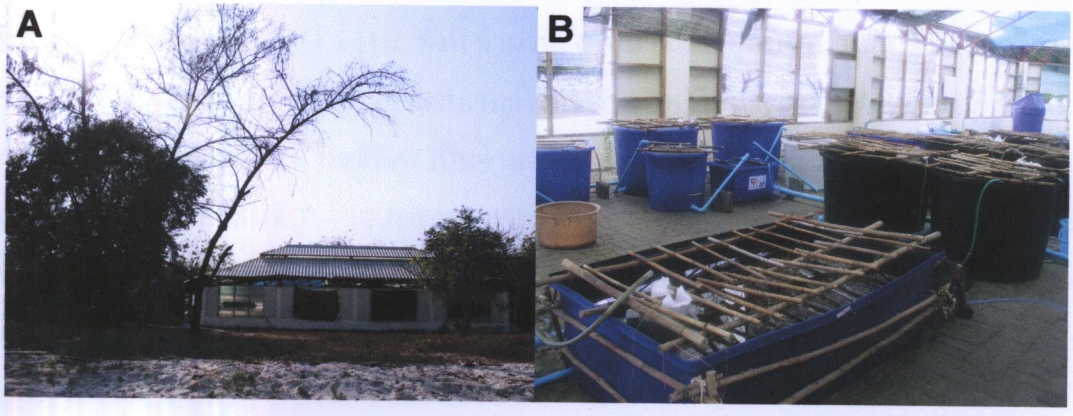
3.1.3 ขั้นตอนการศึกษา

แบ่งขั้นตอนการศึกษาในระบบเลี้ยง ตั้งแต่การปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ถึงระยะการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการังออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะการปฏิสนธิของไข่และสเปิร์ม 2) ระยะหลังการปฏิสนธิถึงระยะก่อนการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง และ 3) ระยะการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง

3.1.3.1 ระยะการปฏิสนธิของไข่และสเปิร์ม (fertilization stage)

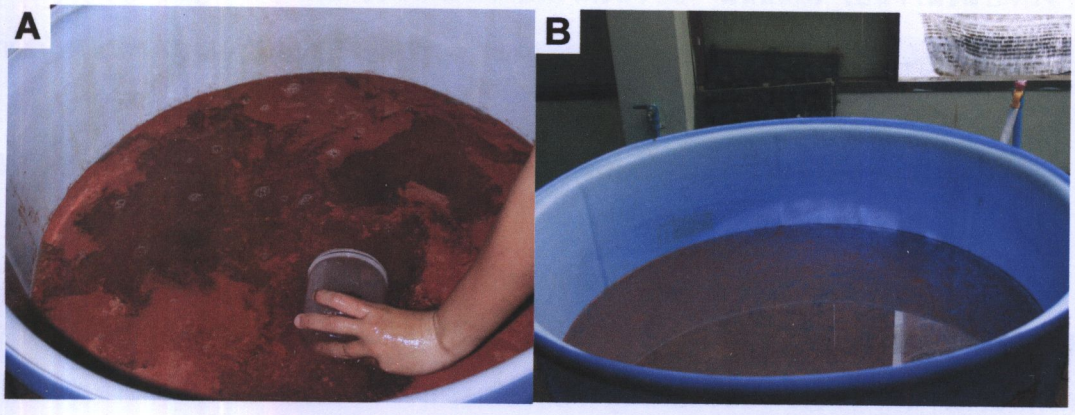
(1) การผสมเซลล์สืบพันธุ์

การผสมเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังใช้วิธีการที่ดัดแปลงมาจาก Hatta *et al.* (2004) โดยผสมเซลล์สืบพันธุ์ทุกโคโลนีของปะการังแต่ละชนิดที่ได้จากการปล่อยตามธรรมชาติเข้าด้วยกัน เพื่อลดโอกาสการผสมกันเองภายในโคโลนีเดียวกัน ทำการผสมเซลล์สืบพันธุ์ดังกล่าวในถังอนุบาลทรงกลม ขนาด 200 ลิตร (รูปที่ 3.2) ที่มีปริมาตรน้ำทะเลประมาณ 100 ลิตร กวนมวลน้ำอย่างช้าๆ เพื่อให้ฝักของเซลล์สืบพันธุ์กระจายออกจากกัน โดยที่เซลล์ไข่แตกออกจากฝักลอยอยู่บนผิวน้ำ ปล่อยวางไว้โดยปราศจากการรบกวนเป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง เพื่อให้ไข่มีโอกาสได้รับการปฏิสนธิกับสเปิร์มอย่างทั่วถึง จากนั้น ล้างเซลล์ไข่และลดความหนาแน่นของไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิโดยการขยายลงสู่ถังอนุบาลอื่น ทั้งนี้ ความหนาแน่นที่เหมาะสมในการอนุบาลไข่หลังการปฏิสนธิขึ้นอยู่กับการกระจายของเซลล์ไข่ที่แผ่ขยายทั่วบริเวณผิวน้ำโดยไม่มีการซ้อนทับกัน ล้างและ/หรือลดความหนาแน่นของเซลล์ไข่ด้วยวิธีการเช่นเดิมเมื่อเซลล์ไข่มีความสะอาดไม่เพียงพอและ/หรือมีความหนาแน่นมากเกินไป เปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำทุก 6 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า โดยวิธีการเดียวกันจนถึงชั่วโมงที่ 18 ภายหลังการปฏิสนธิ จึงปรับเปลี่ยนวิธีการถ่ายน้ำเป็นการเติมน้ำทะเลเข้าสู่ถังอนุบาลแทน ทำเช่นนี้ทุก 6 ชั่วโมงเช่นกัน เพื่อรักษาคุณภาพน้ำ จนกระทั่งตัวอ่อนปะการังมีพฤติกรรมพร้อมทำการลงเกาะบนพื้นผิว



รูปที่ 3.1 โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการังชั่วคราว เกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรี

A: ภายนอกโรงเพาะขยายพันธุ์ และ B: ถังอนุบาลขนาดต่างๆ ภายในโรงเพาะขยายพันธุ์



รูปที่ 3.2 การผสมเซลล์สืบพันธุ์

A: ขณะทำการผสม และ B: เซลล์ไข่ที่ได้รับการผสมแล้ว

(2) **การประเมินอัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์**

ประเมินอัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังที่ได้จากถังอนุบาลขนาด 200 ลิตร ดังกล่าวข้างต้น (หัวข้อ 2.1.3.1 (1)) ทั้งนี้ จำนวนถังอนุบาลขึ้นอยู่กับจำนวนโคโลนีปะการังที่เก็บเซลล์สืบพันธุ์ในแต่ละพื้นที่ สุ่มนับจำนวนเซลล์ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิและไม่ได้รับการปฏิสนธิในถังอนุบาลด้วยปริมาตรน้ำ 100 มิลลิลิตร เป็นจำนวน 3 ครั้ง ต่อถังอนุบาล ทั้งนี้ อัตราการปฏิสนธิใช้การสุ่มตรวจวัดในชั่วโมงที่ 7 – 10 ภายหลังการปฏิสนธิ เนื่องจากเป็นระยะที่สามารถแยกเซลล์ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน (Omori *et al.*, 2001) นอกจากนั้น ได้ทำการประเมินโอกาสเกิดการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ที่มาจากโคโลนีเดียวกัน โดยสุ่มใช้เซลล์สืบพันธุ์จากโคโลนีเดียวกันมาทำการผสมระหว่างไข่และสเปิร์ม

(3) **การประเมินความหนาแน่นของสเปิร์มในระยะการปฏิสนธิ**

ประเมินความหนาแน่นของสเปิร์มในระยะการปฏิสนธิ โดยสุ่มตัวอย่างสเปิร์มจากถังอนุบาลขนาด 200 ลิตร ดังกล่าวข้างต้น ด้วยปริมาตรน้ำ 10^{-4} มิลลิลิตร เป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำการนับความหนาแน่นของสเปิร์มโดย hemacytometer เช่นเดียวกับหัวข้อ 2.1.3.3 (3) (รูปที่ 2.4)

3.1.3.2 **ระยะหลังการปฏิสนธิถึงระยะก่อนการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง**

(1) **พัฒนาการของเซลล์ปะการังภายหลังการปฏิสนธิ**

ศึกษาพัฒนาการของเซลล์ปะการังภายหลังการปฏิสนธิจนเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำภายใต้กล้องจุลทรรศน์และกระบวนการทางเนื้อเยื่อวิทยา สุ่มเก็บตัวอย่างเซลล์ดังกล่าวภายหลังการปฏิสนธิ เป็นจำนวน 25 – 75 เซลล์ ทุกชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 – 15 จากนั้น เก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 18 – 36 และ ทุก 12 ชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 ถึงระยะเป็นตัวอ่อนที่พร้อมลงเกาะบนพื้นผิว ทั้งนี้ แบ่งตัวอย่างที่เก็บแต่ละระยะออกเป็น 2 ส่วน โดยนำมารักษาสภาพในสารละลาย 10% ฟอร์มาลินในน้ำทะเล (1 ส่วน) และสารละลายบูแองก์ (Bouin solution) (1 ส่วน) บันทึกภาพพัฒนาการของเซลล์ปะการัง *Acropora* พร้อมทั้งเปรียบเทียบช่วงเวลาในพัฒนาการของปะการังดังกล่าว

(2) **การประเมินอัตรารอดของตัวอ่อนที่มีพัฒนาการเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ**

เมื่อตัวอ่อนปะการังมีพัฒนาการถึงระยะว่ายน้ำ จึงทำการประเมินอัตรารอดของตัวอ่อนระยะดังกล่าว โดยสุ่มตัวอย่างเซลล์ไข่ปะการัง 3 ชนิด (*Acropora humilis*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta*) ที่ได้รับการปฏิสนธิแล้ว จำนวน 100 เซลล์ ลงในตู้กระจกทดลองขนาด

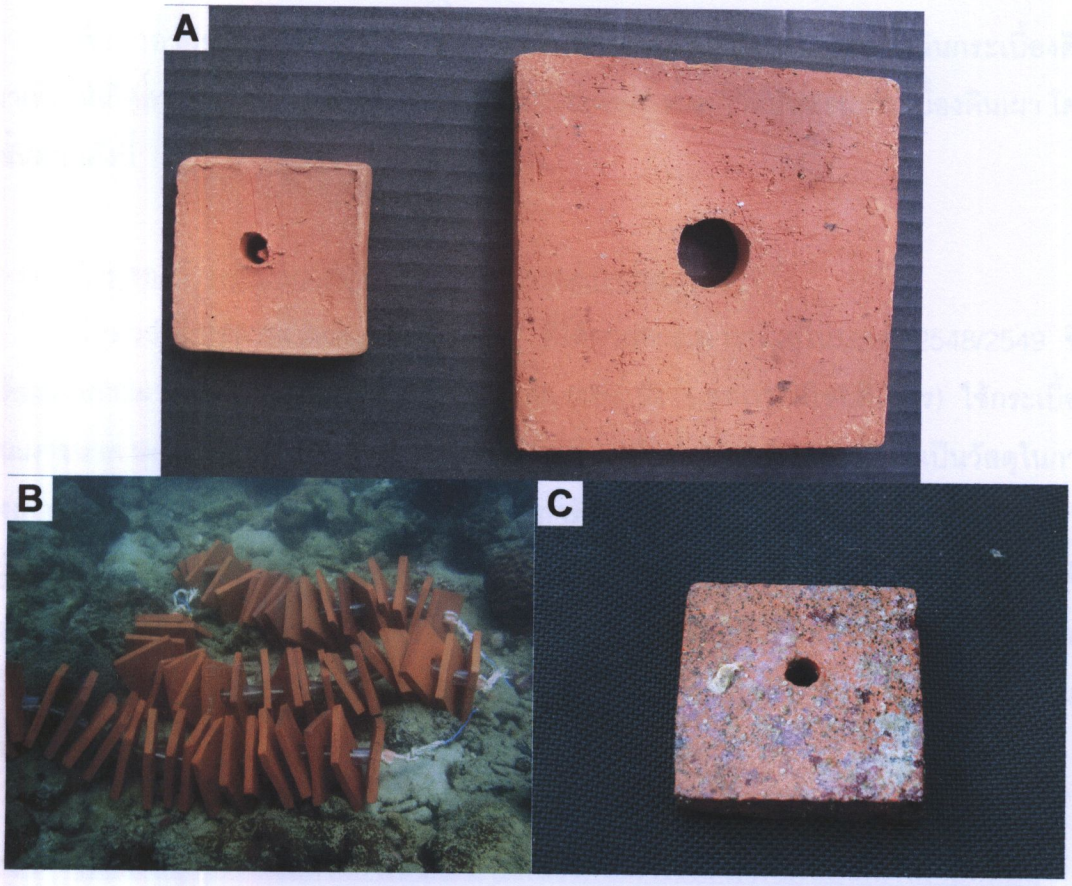
10x10x20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดลอง 5 ซ้ำ โดยนับจำนวนตัวอ่อนที่อยู่ในระยะว่ายน้ำทั้งหมด ณ ชั่วโมงที่ 60 ภายหลังการปฏิสนธิ

3.1.3.3 ระยะการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง

(1) **การเตรียมการลงเกาะบนพื้นผิว**

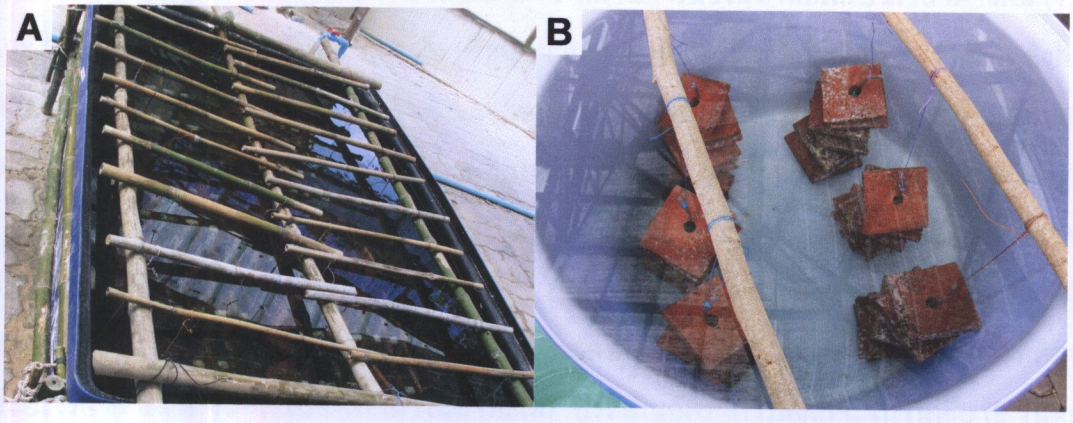
เตรียมวัสดุที่ใช้ในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังเมื่อพบพฤติกรรมพร้อมทำการลงเกาะ โดยใช้แผ่นกระเบื้องดินเผาสี่เหลี่ยม 2 ขนาด (5x5 และ 10x10 ตารางเซนติเมตร) (รูปที่ 3.3 A) ที่ผ่านการแช่ในทะเล (รูปที่ 3.3 B) เพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูน (coralline red algae) ซึ่งใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำให้ตัวอ่อนปะการังทำการลงเกาะบนพื้นผิวได้มากขึ้น (Hatta *et al.*, 2004) ทั้งนี้ ก่อนนำมาใช้ได้ทำความสะอาดสิ่งมีชีวิตอื่นที่เกาะติดบนแผ่นกระเบื้องดังกล่าว เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้ามาในระบบเลี้ยง โดยระวังไม่ให้สาหร่ายหินปูนถูกกำจัดออกไปด้วย (รูปที่ 3.3 C)

เมื่อตัวอ่อนปะการังมีพฤติกรรมการว่ายน้ำอยู่ใกล้กับพื้นหรือผนังของถังอนุบาล จึงย้ายตัวอ่อนปะการังลงในถังอนุบาลที่ได้ทำการจัดวางแผ่นกระเบื้องโดยการแขวนเป็นแถวในลักษณะแนวตั้ง (รูปที่ 3.4 A) และแนวนอน (รูปที่ 3.4 B) ระยะนี้ไม่ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำเนื่องจากเป็นการรบกวนกระบวนการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง อย่างไรก็ตาม ระหว่างนั้นให้เติมน้ำทะเลวันละ 1 ครั้ง จนกระทั่งตัวอ่อนอายุ 3 วันหลังการลงเกาะ ซึ่งเป็นระยะที่ตัวอ่อนทำการเกาะอย่างสมบูรณ์หรือค่อนข้างสมบูรณ์ จากนั้นจึงเปลี่ยนวิธีการเติมน้ำเป็นการให้น้ำทะเลไหลผ่านตลอดเวลา



รูปที่ 3.3 แผ่นกระเบื้องดินเผาใช้ในการศึกษาการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง

A: แผ่นกระเบื้องดินเผา ขนาด 5x5 และ 10x10 ตารางเซนติเมตร; B: ลักษณะของแผ่นกระเบื้องดินเผาขณะที่แช่ในทะเล และ C: แผ่นกระเบื้องดินเผาที่พร้อมนำไปใช้ ซึ่งผ่านการแช่และทำความสะอาดแล้ว



รูปที่ 3.4 ลักษณะการจัดแขวนแผ่นกระเบื้องดินเผาในถังอนุบาล

A: การจัดแขวนแนวตั้ง และ B: การจัดแขวนแนวนอน

(2) ประเมินอัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง

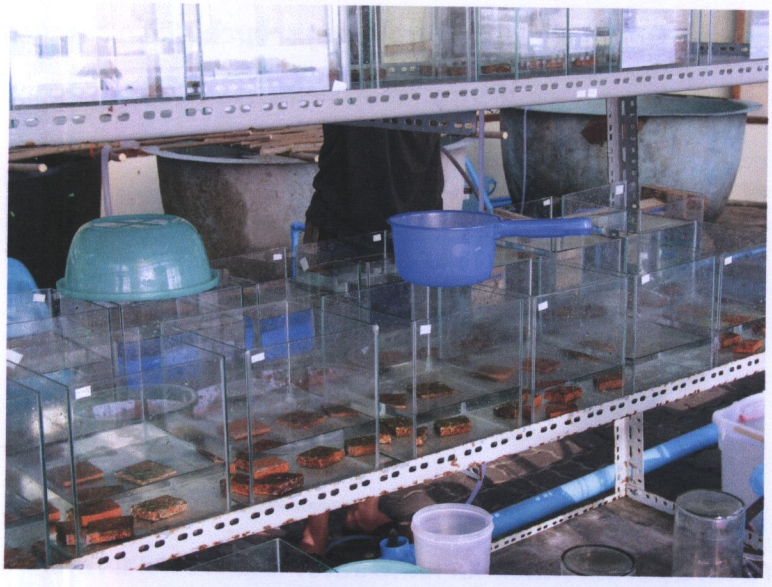
ศึกษาอายุของตัวอ่อนที่พร้อมลงเกาะ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่แผ่นกระเบื้องดินเผาเพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูน และตำแหน่งที่เหมาะสมในการลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผา โดยมีขั้นตอนดังนี้

(2-1) อายุของตัวอ่อนปะการังที่เหมาะสมในการลงเกาะบนพื้นผิว

นำตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ได้จากการเพาะพันธุ์ในรอบปี 2548/2549 ซึ่งพร้อมลงเกาะมาศึกษาในตู้กระจกทดลองขนาดเล็ก (15x15x15 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ใช้กระเบื้องดินเผาขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร 1 แผ่น/ตู้ ที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลนาน 2 เดือน เป็นวัสดุในการลงเกาะ โดยวางแนวนอน จากนั้น นำตัวอ่อนปะการังอายุ 4, 5, 6, 7 และ 9 วัน ภายหลังการปฏิสนธิ จำนวน 40 – 50 ตัว ใส่ในตู้ทดลองแต่ละตู้ ทำการทดลอง 5 ซ้ำต่อชุดการทดลอง (อายุตัวอ่อนปะการัง) นับจำนวนตัวอ่อนที่ทำการลงเกาะและไม่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องหลังจากติดตามเป็นเวลา 5 วัน คือ ที่อายุ 9, 10, 11, 12 และ 14 วันหลังการปฏิสนธิ ลักษณะการทดลองในตู้ทดลองขนาดเล็กแสดงในรูปที่ 3.5

(2-2) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่แผ่นกระเบื้องดินเผาในทะเลเพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูน

ศึกษาในปะการัง *Acropora humilis* ที่ได้จากการเพาะพันธุ์ในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550 โดยในรอบปีที่หนึ่งเป็นการติดตามอัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังอายุ 4 วันหลังการปฏิสนธิในระบบเพาะขยายพันธุ์ (ถังอนุบาลขนาด 200 ลิตร) โดยตรง ทำการสุ่มตัวอย่างแผ่นกระเบื้องดินเผาขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร ที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลเป็นเวลาต่างกัน (1, 2 และ 3 เดือน) จำนวน 5, 5 และ 12 แผ่น เพื่อนับจำนวนตัวอ่อนปะการังในวันที่ 7 (11 วันหลังการปฏิสนธิ) สำหรับรอบปีที่สอง ศึกษาในตู้กระจกทดลองขนาดเล็ก (25x25x20 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยใช้กระเบื้องดินเผาขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น/ตู้ ที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลนาน 1, 2, 3 และ 4 เดือน เป็นวัสดุในการลงเกาะ โดยวางในแนวนอน สำหรับแผ่นกระเบื้องที่ไม่แช่น้ำทะเลใช้ขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น/ตู้ จากนั้น นำตัวอ่อนปะการังอายุ 4 วัน ภายหลังการปฏิสนธิ จำนวน 100 ตัว มาใส่ในตู้ทดลองแต่ละตู้ ทดลอง 5 ซ้ำต่อชุดการทดลอง (ระยะเวลาการแช่แผ่นกระเบื้องดินเผาในน้ำทะเล) ประเมินอัตราการลงเกาะในวันที่ 5 (9 วันหลังการปฏิสนธิ)



รูปที่ 3.5 ลักษณะการทดลองการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังบนพื้นผิวในตู้กระจกขนาดเล็ก

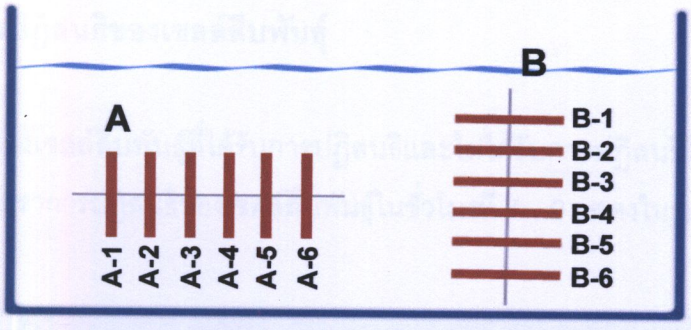
(2-3) <u>อัตราและตำแหน่งที่เหมาะสมในการลงเกาะบนพื้นผิวของปะการัง</u>

นำตัวอ่อนปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด ที่ได้จากการเพาะพันธุ์ในรอบปี 2549/2550 ซึ่งมีอายุ 4 วันหลังการปฏิสนธิ จำนวน 100 ตัว มาศึกษาเปรียบเทียบอัตราการลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผา ขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร ที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลนาน 3 เดือน (1 แผ่น/ตู้) ในตู้กระจกทดลองขนาด 25x25x20 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยวางในแนวนอน ทำการทดลอง 5 ซ้ำต่อชุดการทดลอง และประเมินอัตราการลงเกาะในวันที่ 5 (9 วันหลังการปฏิสนธิ)

นอกจากนั้น ได้ศึกษาตำแหน่งการลงเกาะบนพื้นผิวกระเบื้องดินเผา โดยวางแผ่นกระเบื้องดังกล่าวในแนวนอนที่ยกสูงจากพื้นตู้ทดลองประมาณ 1 เซนติเมตร เปรียบเทียบตำแหน่งด้านบน ด้านล่าง และขอบของแผ่นกระเบื้อง รวมถึงพื้นตู้ทดลอง และจำนวนตัวอ่อนที่ไม่ลงเกาะด้วยวิธีเดียวกับการศึกษาข้างต้น

ทั้งนี้ ศึกษาเปรียบเทียบตำแหน่งการลงเกาะของปะการัง *Acropora humilis* บนพื้นผิวของแผ่นกระเบื้องดินเผาในระบบเพาะขยายพันธุ์โดยตรง (ถังอนุบาลสี่เหลี่ยมขนาด 300 ลิตร) โดยใช้แผ่นกระเบื้องดินเผาขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร ผูกติดต่อกันเป็นแถว แถวละ 6 แผ่น โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็นลักษณะการวางแผ่นกระเบื้องแต่ละแถวในถังอนุบาลตามแนวตั้ง (จากซ้ายไปขวา: A-1, A-2, ..., A-6) และแนวนอน (จากบนไปล่าง: B-1, B-2, ..., B-6) ดังรูปที่ 3.6 และระยะเวลาที่นำแผ่นกระเบื้องดินเผาแช่ในน้ำทะเลที่ต่างกัน (1, 2, 3 และ 4 เดือน) โดยใช้

จำนวนแถว 3 – 4 แถว ต่ออายุของแผ่นกระเบื้องในแต่ละลักษณะการวาง เพื่อศึกษาจำนวนตัวอ่อนปะการังที่ทำการลงเกาะบนด้านข้าง (ซ้าย/ขวา) ด้านบน ด้านล่าง หรือ ขอบของแผ่นกระเบื้องดังกล่าว เมื่อตัวอ่อนอายุ 30 วันหลังเริ่มทำการลงเกาะบนพื้นผิว



รูปที่ 3.6 ลักษณะการวางแผ่นกระเบื้องดินเผาแต่ละแถวในถังอนุบาลขนาด 300 ลิตร
A: การวางในแนวตั้ง และ B: การวางในแนวนอน

(3) **ประเมินพัฒนาการของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว**

ศึกษาพัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ระยะลงเกาะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ตั้งแต่ระยะเริ่มลงเกาะจนถึงระยะที่ลงเกาะสมบูรณ์ ซึ่งเป็นระยะที่ตัวอ่อนปะการังมีการสร้างโครงร่างหินปูนเรียบร้อยแล้ว โดยติดตามพัฒนาการดังกล่าวเป็นระยะเวลาประมาณ 3 วัน หลังจากให้ตัวอ่อนทำการลงเกาะบนพื้นผิว

3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

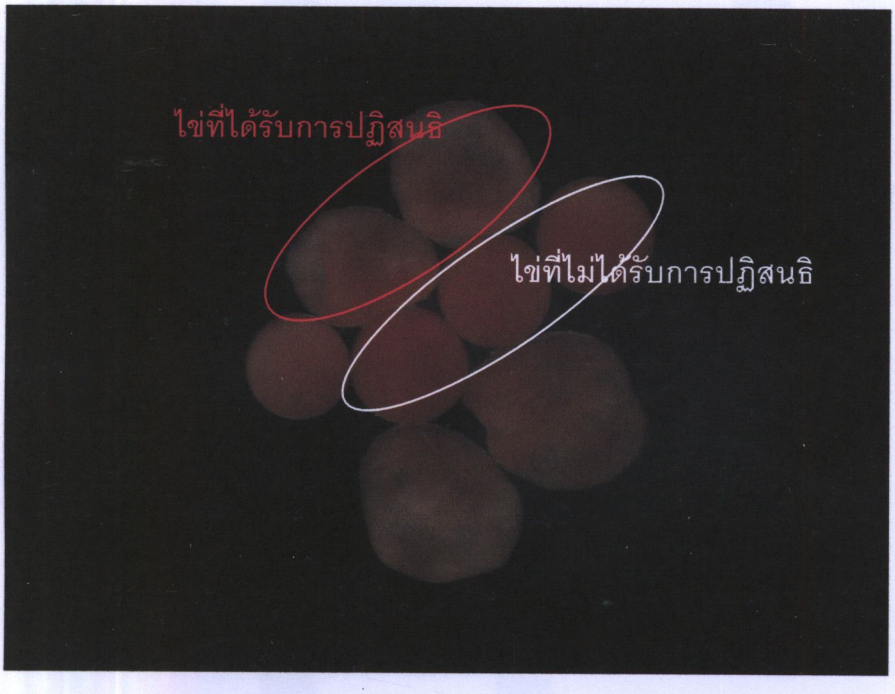
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ One Way ANOVA และ Tukey-Pairwise Mean Comparison ($P<0.05$) เพื่อเปรียบเทียบการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนที่ลงเกาะในแต่ละบริเวณของแผ่นกระเบื้อง ชนิดของวัสดุที่ตัวอ่อนลงเกาะ และระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการแช่กระเบื้องในทะเล

3.2 ผลการศึกษา

3.2.1 ระยะการปฏิสนธิของไข่และสเปิร์ม

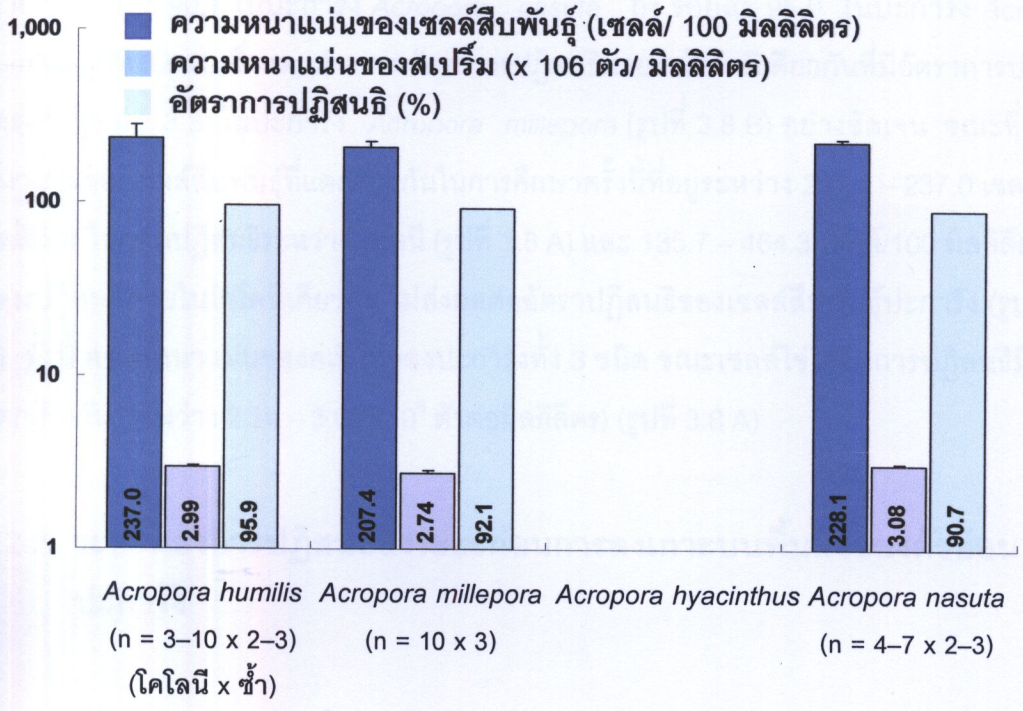
3.2.1.1 อัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์

ลักษณะของเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้รับการปฏิสนธิและไม่ได้รับการปฏิสนธิในชั่วโมงที่ 8 แสดงในรูปที่ 3.7 และอัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ในชั่วโมงที่ 7 – 9 แสดงในรูปที่ 3.8

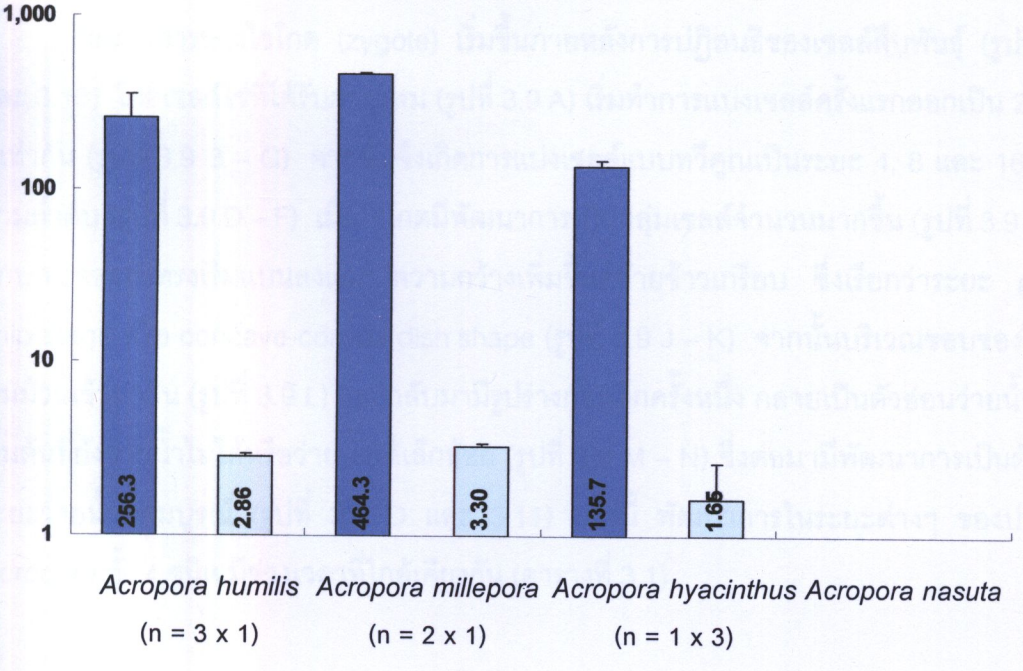


รูปที่ 3.7 ลักษณะของเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้รับและไม่ได้รับการปฏิสนธิในชั่วโมงที่ 8

A: การปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ระหว่างโคโลนี



B: การปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ภายในโคโลนี



รูปที่ 3.8 การปฏิสนธิของปะการัง *Acropora* ในระบบเลี้ยง

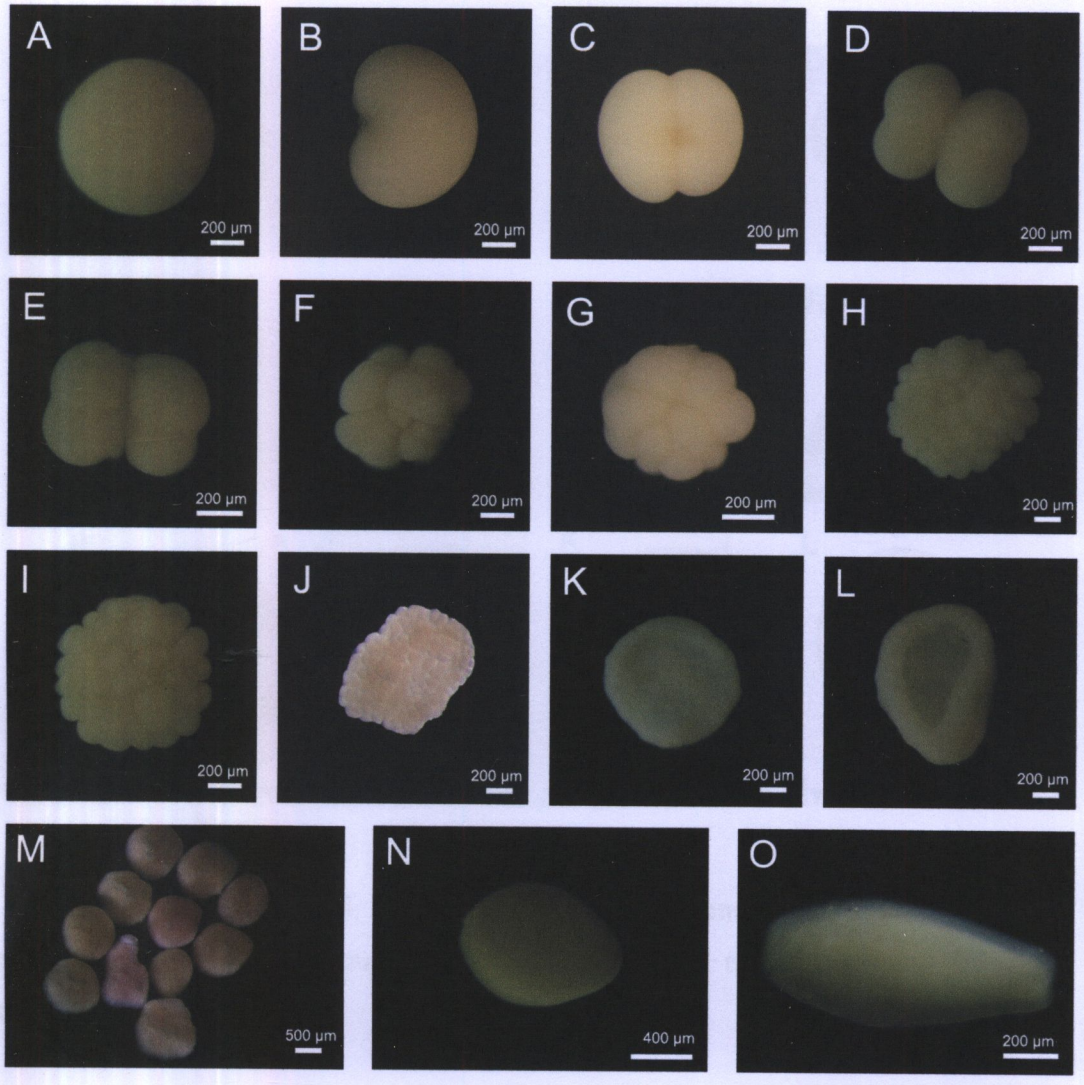
A: การปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ระหว่างโคโลนี และ B: การปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ภายในโคโลนีเดียวกัน

อัตราการปฏิสนธิของปะการัง *Acropora* 3 ชนิด ที่ใช้เซลล์สืบพันธุ์จากจำนวนโคโลนีมากกว่า 3 โคโลนีขึ้นไป (3 – 10 โคโลนี) มาทำการผสมเข้าด้วยกันในระบบเลี้ยง มีค่าเฉลี่ยระหว่างร้อยละ 90.7 ในปะการัง *Acropora nasuta* ถึง ร้อยละ 95.9 ในปะการัง *Acropora humilis* (รูปที่ 3.8 A) ซึ่งแตกต่างจากอัตราการปฏิสนธิภายในโคโลนีเดียวกันที่มีอัตราการปฏิสนธิสูงสุดที่ ร้อยละ 3.3 ในปะการัง *Acropora millepora* (รูปที่ 3.8 B) อย่างชัดเจน ขณะที่ ความหนาแน่นของเซลล์สืบพันธุ์ที่แตกต่างกันในการศึกษาครั้งนี้ที่อยู่ระหว่าง 207.4 – 237.0 เซลล์/100 มิลลิลิตร ในกลุ่มปฏิสนธิระหว่างโคโลนี (รูปที่ 3.8 A) และ 135.7 – 464.3 เซลล์/100 มิลลิลิตร) ในกลุ่มปฏิสนธิภายในโคโลนีเดียวกัน ไม่ส่งผลต่ออัตราปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ปะการัง (รูปที่ 3.8 B) ทั้งนี้ ความหนาแน่นของสเปิร์มของปะการังทั้ง 3 ชนิด ขณะเซลล์ไข่ได้รับการปฏิสนธิมีค่าไม่แตกต่างกัน (ระหว่าง 2.74 – 3.08 x10^6 ตัวต่อมิลลิลิตร) (รูปที่ 3.8 A)

3.2.2 ระยะหลังการปฏิสนธิถึงระยะก่อนการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง

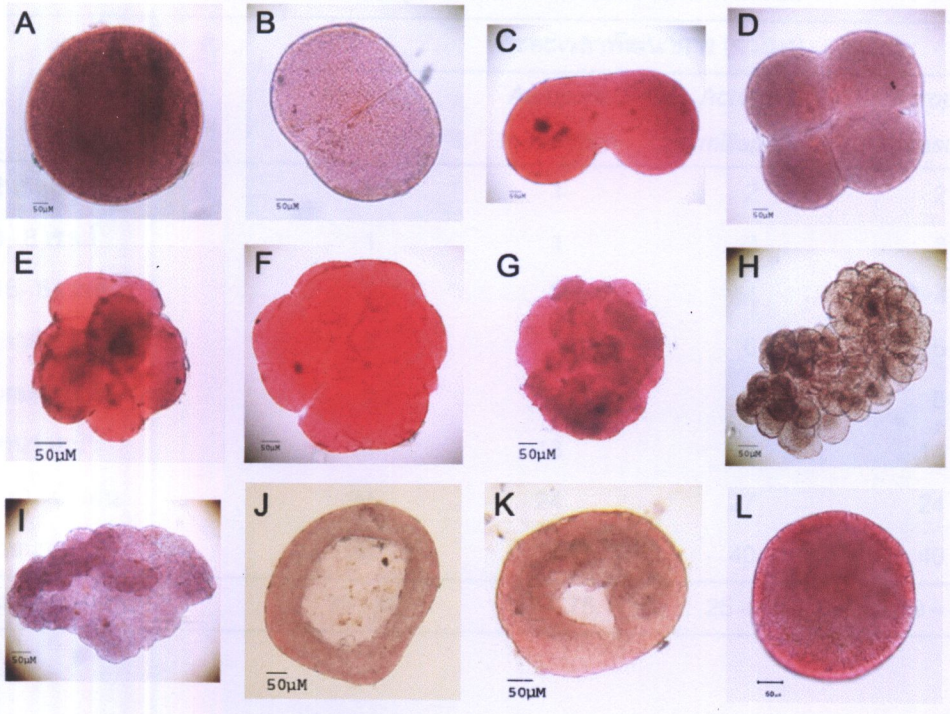
3.2.2.1 พัฒนาการของเซลล์ปะการังภายหลังการปฏิสนธิ

พัฒนาการของไซโกต (zygote) เริ่มขึ้นภายหลังการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ (รูปที่ 3.9 และ 3.10) โดยเซลล์ไข่ที่ได้รับการผสม (รูปที่ 3.9 A) เริ่มทำการแบ่งเซลล์ครั้งแรกออกเป็น 2 เซลล์ที่เท่ากัน (รูปที่ 3.9 B – C) จากนั้นจึงเกิดการแบ่งเซลล์แบบทวีคูณเป็นระยะ 4, 8 และ 16 เซลล์ตามลำดับ (รูปที่ 3.9 D – F) เมื่อไซโกตมีพัฒนาการเป็นกลุ่มเซลล์จำนวนมากขึ้น (รูปที่ 3.9 G – I) ลักษณะของรูปทรงเริ่มแบนลงและมีความกว้างเพิ่มขึ้นคล้ายข้าวเกรียบ ซึ่งเรียกว่าระยะ prawn chip stage หรือ concave-convex dish shape (รูปที่ 3.9 J – K) จากนั้นบริเวณขอบของไซโกตเริ่มม้วนเข้าหากัน (รูปที่ 3.9 L) และกลับมามีรูปร่างกลมอีกครั้งหนึ่ง กลายเป็นตัวอ่อนว่ายน้ำระยะเริ่มต้นที่ยังว่ายน้ำไม่ได้หรือว่ายน้ำได้เล็กน้อย (รูปที่ 3.9 M – N) ซึ่งต่อมามีพัฒนาการเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำที่สมบูรณ์ (รูปที่ 3.9 O และ 3.11) ทั้งนี้ พัฒนาการในระยะต่างๆ ของปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด มีช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3.1)



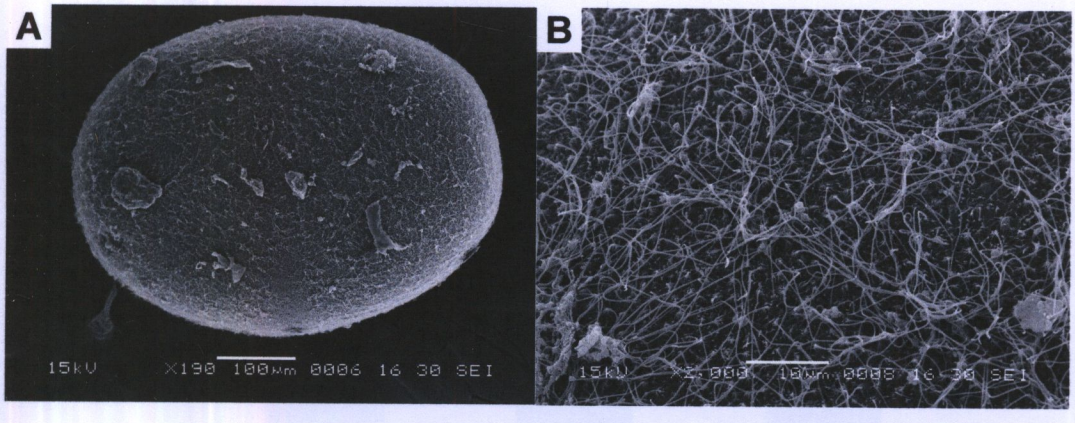
รูปที่ 3.9 พัฒนาการของไซโกตปะการัง *Acropora humilis* (n = 30 – 50 เซลล์)

A: เซลล์ไข่ที่ได้รับการผสม; B: เริ่มแบ่งตัวครั้งแรก 0.5 ชั่วโมง; C: เริ่มแบ่งตัวครั้งที่ 2; D: ระยะ 4 เซลล์; E: ระยะ 8 เซลล์; F–G: ระยะหลายเซลล์; H-I: เริ่มมีรูปร่างแบน; J–K: รูปร่างแบนคล้ายข้าวเกรียบ; L: ที่บริเวณขอบของกลุ่มเซลล์เริ่มม้วนเข้าหากัน; M: ระยะก่อนเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำมีรูปร่างกลม 24 ชั่วโมง; N: ตัวอ่อนว่ายน้ำระยะแรก 48 ชั่วโมง; O: ตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ อายุ 4 วัน



รูปที่ 3.10 พัฒนาการของไซโกตปะการัง *Acropora millepora* โดยวิธีทางเนื้อเยื่อวิทยา (n = 30 – 50 เซลล์)

A: เซลล์ไข่ปะการังก่อนการแบ่งเซลล์; B–C: แบ่งเซลล์ครั้งแรก ระยะ 2 เซลล์; D–E: ระยะ 4–8 เซลล์; F–H: ระยะหลายเซลล์; I: ระยะเป็นแผ่นแบน; J: บริเวณขอบม้วนเข้าหากัน; K: กลับเป็นรูปทรงกลม; L: ตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ อายุ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 3.11 ตัวอ่อนระยะว่ายน้ำของปะการัง *Acropora humilis* จากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

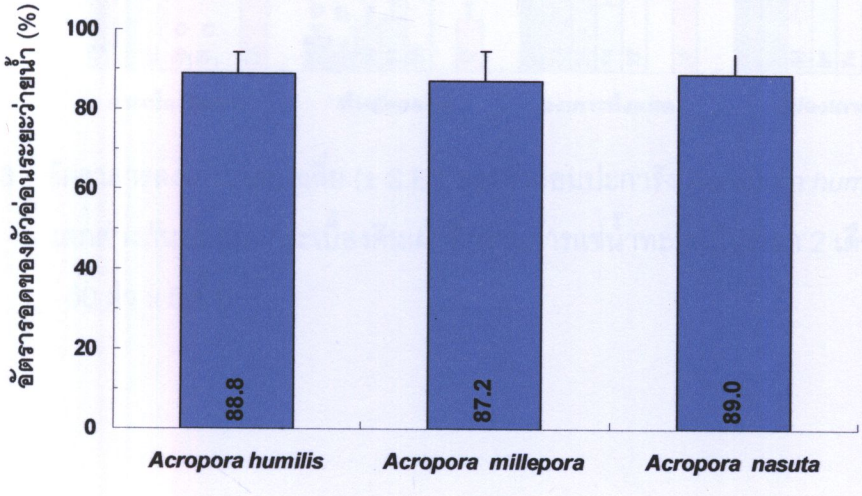
A: ตัวอ่อนปะการังระยะว่ายน้ำ และ B: ลักษณะของซีเลีย (cilia) ที่ตัวอ่อนใช้ในการว่ายน้ำ

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาหลังเซลล์สืบพันธุ์ปะการังมีพัฒนาการในแต่ละระยะ

	ระยะเวลาพัฒนาการ (ชั่วโมง)			
	Acropora humilis	*Acropora hyacinthus*	*Acropora millepora*	*Acropora nasuta*
ระยะ 2 เซลล์	0.5	1	2	2
ระยะ 4– 8 เซลล์	1	1	3	3
ระยะ 16– 64 เซลล์	2	2	4	4
ระยะหลายเซลล์	5	3	6	5
ระยะ prawn chip stage	8	8	8	8
ระยะก่อนว่ายน้ำ	13	13	13	14
ระยะว่ายน้ำเริ่มต้น	27	24	27	24
ระยะว่ายน้ำ	36	36	40	40
จำนวนตัวอ่อน (เซลล์)	35 – 65	36 – 75	25 – 50	29 – 50

3.2.2.2 อัตรารอดของตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ

อัตรารอดของเซลล์ไข่ปะการัง 3 ชนิด ได้แก่ *Acropora humilis*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* ที่ได้รับการผสมจนเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำมีค่าไม่แตกต่างกัน (ร้อยละ 87.2 ถึง 89.0) (รูปที่ 3.12)

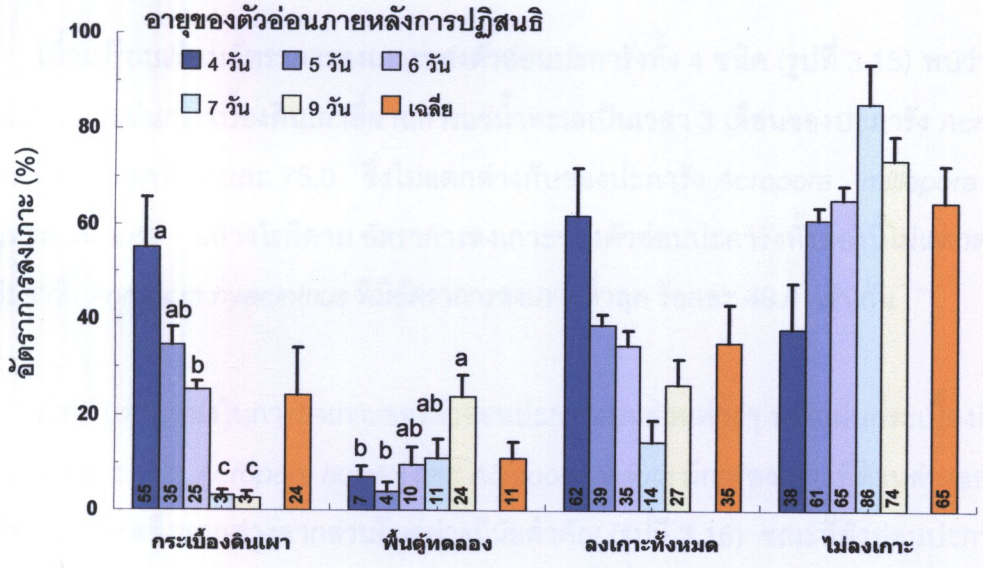


รูปที่ 3.12 อัตรารอดโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของเซลล์ไข่ปะการัง *Acropora* ที่ได้รับการปฏิสนธิและพัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (n = 100 ตัว x 5 ซ้ำ)

3.2.3 ระยะการลงเกาะบนพื้นผิวของตัวอ่อนปะการัง

3.2.3.1 อายุของตัวอ่อนปะการังที่เหมาะสมในการลงเกาะบนพื้นผิว

ผลการศึกษาอายุของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่เหมาะสมภายหลังการปฏิสนธิ แสดงในรูปที่ 3.13 ภายหลังการศึกษาการลงเกาะเป็นเวลา 5 วัน พบอัตราการลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาสูงที่สุดที่ตัวอ่อนอายุ 4 วันหลังการปฏิสนธิ (ร้อยละ 55.0) และอัตราการลงเกาะลดลงเมื่อตัวอ่อนมีอายุมากขึ้น ทั้งนี้ พบตัวอ่อนจำนวนหนึ่งที่ลงเกาะบนพื้นตู้กระจก และอัตราการไม่ลงเกาะของตัวอ่อนปะการังที่มีอายุมากขึ้นสูงกว่าอัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังอายุเท่ากันบนพื้นผิวกระเบื้อง ทั้งนี้ ขณะทำการทดลองอุณหภูมิของน้ำทะเลในตู้ทดลองมีค่าประมาณ 28 – 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.13 อัตราการลงเกาะโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่มีอายุแตกต่างกันบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 2 เดือน (n = 40 – 50 ตัว x 5 ซ้ำ)

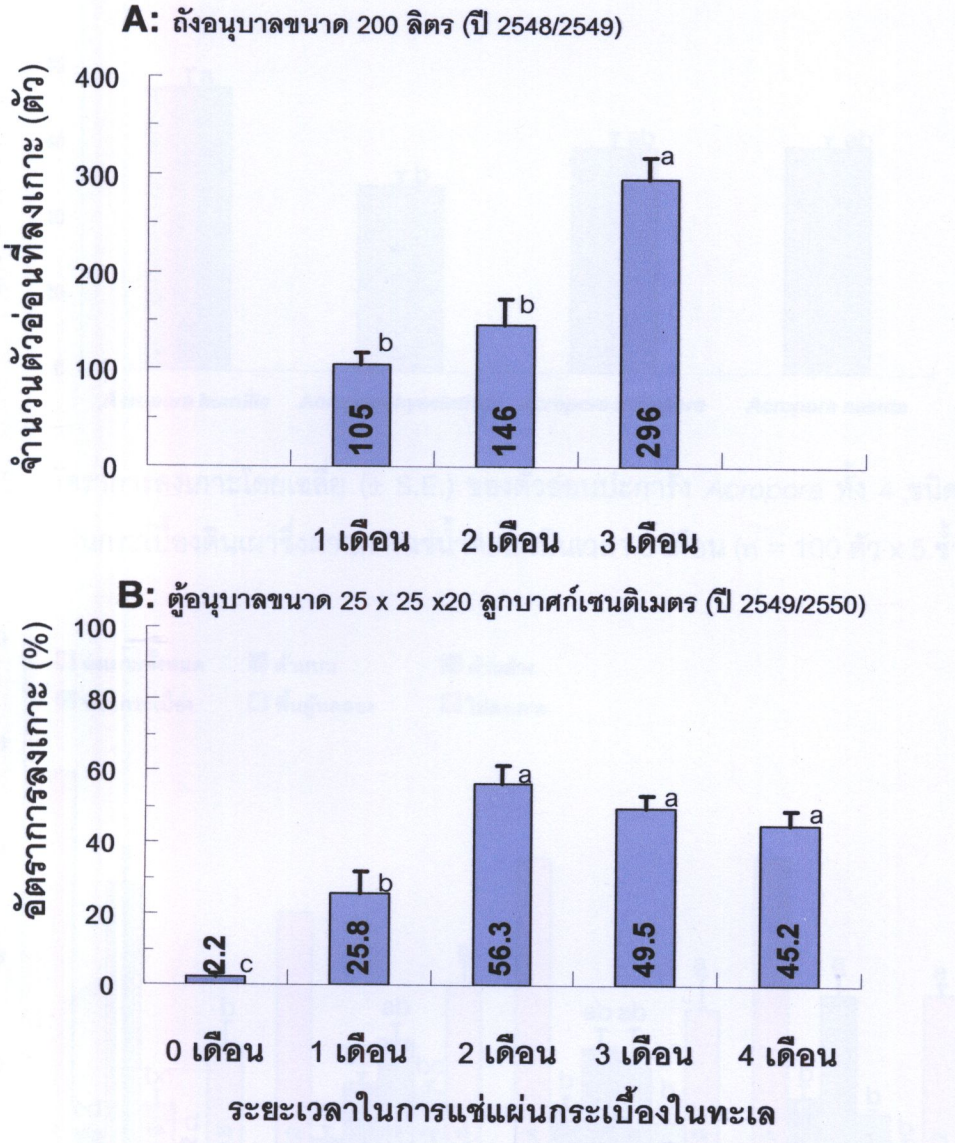
3.2.3.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่แผ่นกระเบื้องดินเผาในทะเลเพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูน

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่แผ่นกระเบื้องดินเผาในน้ำทะเลเป็นเวลา 1, 2 และ 3 เดือน ที่ให้ตัวอ่อนปะการังทำการลงเกาะ พบว่า การศึกษาในรอบปี 2548/2549 ในถังเพาะขยายพันธุ์ปะการัง *Acropora humilis* มีจำนวนตัวอ่อนปะการังมีการลงเกาะสูงที่สุด 296.1 ตัว บนแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่ในทะเลเป็นเวลา 3 เดือน (รูปที่ 3.14 A) ขณะที่การศึกษาในตู้ทดลองขนาดเล็กในรอบปี 2549/2550 ไม่พบความแตกต่างของอัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังบนแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลเป็นเวลา 2 – 4 เดือน (ร้อยละ 45.2 – 56.3) (รูปที่ 3.14 B) อย่างไรก็ตาม แผ่นกระเบื้องที่ไม่ผ่านการแช่น้ำทะเลมีการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังต่ำมาก (ร้อยละ 2.2) (รูปที่ 3.14 B)

3.2.3.3 อัตราและตำแหน่งที่เหมาะสมในการลงเกาะบนพื้นผิวของปะการัง

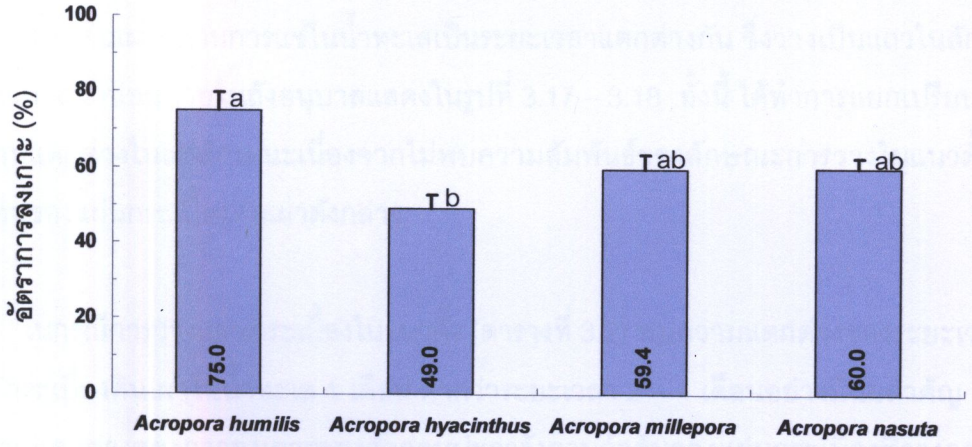
เมื่อเปรียบเทียบอัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังทั้ง 4 ชนิด (รูปที่ 3.15) พบว่าอัตราการลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 3 เดือนของปะการัง *Acropora humilis* มีค่าสูงสุดที่ ร้อยละ 75.0 ซึ่งไม่แตกต่างกับของปะการัง *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* อย่างไรก็ตาม อัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังทั้งสองนี้ไม่แตกต่างกับของปะการัง *Acropora hyacinthus* ที่มีอัตราการลงเกาะต่ำสุด ร้อยละ 49.0 เช่นกัน

สำหรับตำแหน่งในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังบนส่วนต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผา พบว่าตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* และ *Acropora nasuta* มีการลงเกาะที่ด้านล่างของแผ่นกระเบื้องมากที่สุดซึ่งแตกต่างจากส่วนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 3.16) ขณะที่ตัวอ่อนปะการังอีกสองชนิดมีการลงเกาะในตำแหน่งต่างๆ ไม่ต่างกัน ทั้งนี้ อัตราการไม่ลงเกาะของปะการัง *Acropora humilis* มีค่าต่ำกว่าของปะการังชนิดที่มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 3.16)

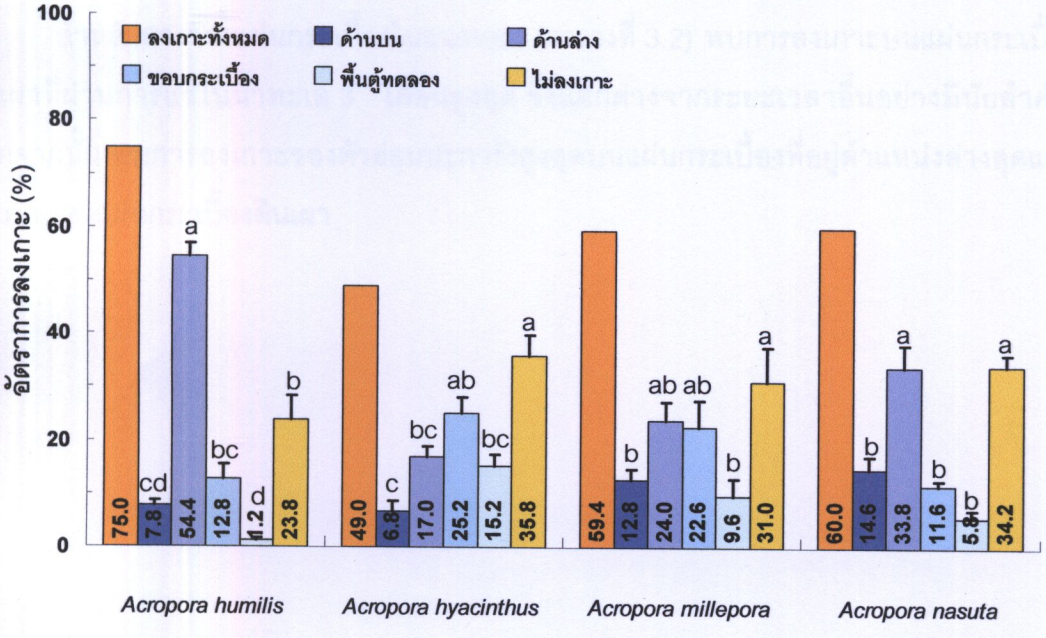


รูปที่ 3.14 ค่าเฉลี่ย (± S.E.) ของจำนวนและอัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* บนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลาแตกต่างกันเพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูน

A: การทดลองในระบบเพาะขยายพันธุ์ปะการัง ปี 2548/2549 (n = จำนวนตัวอ่อน x 5–12 แผ่น) และ B: การทดลองในตู้ทดลองขนาดเล็ก ปี 2549/2550 (n = 100 ตัว x 2 แผ่น x 6 ซ้ำ)



รูปที่ 3.15 อัตราการลงเกาะโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด บนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 3 เดือน (n = 100 ตัว x 5 ซ้ำ)

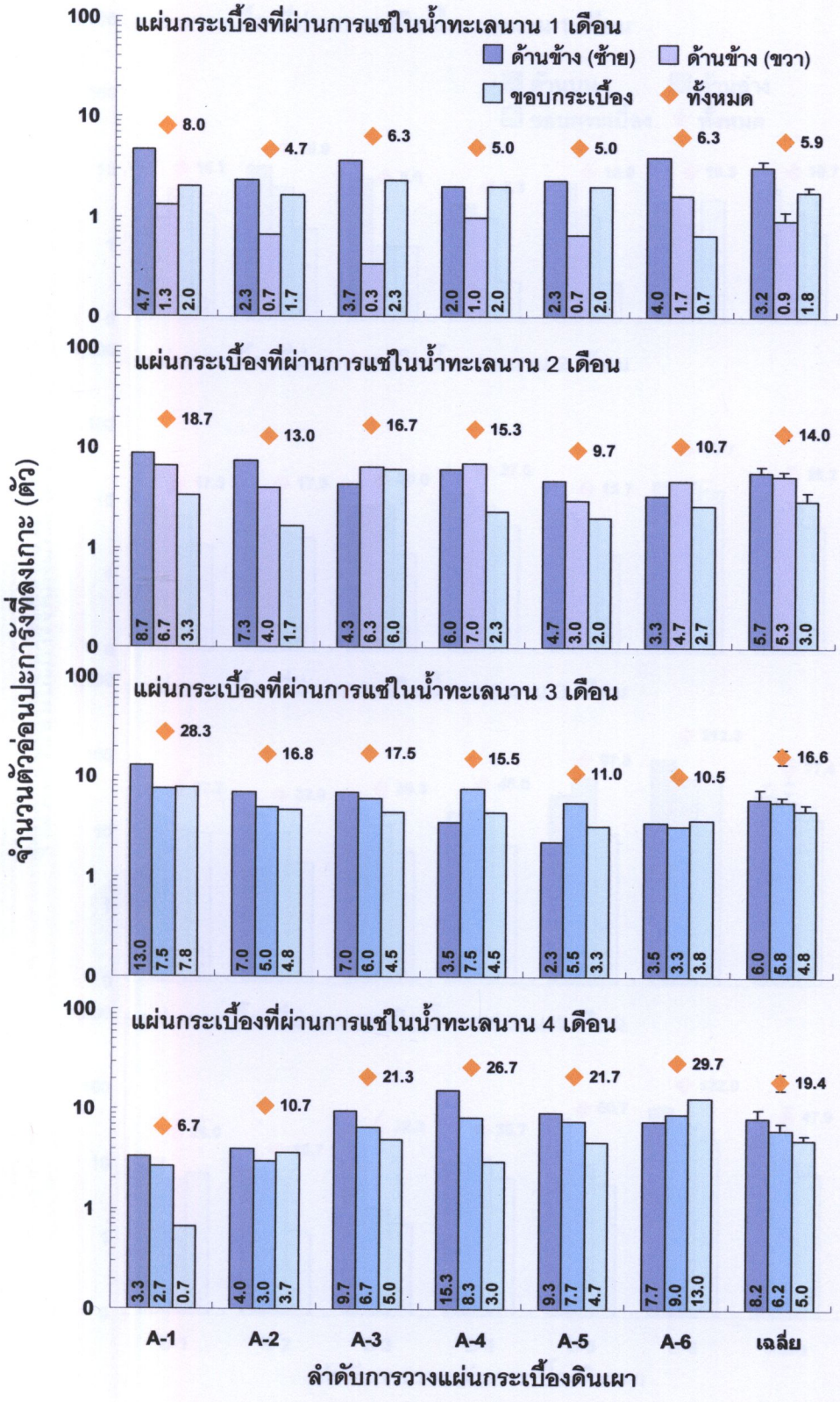


รูปที่ 3.16 อัตราการลงเกาะโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* ทั้ง 4 ชนิด บนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 3 เดือน (n = 100 ตัว x 5 ซ้ำ)

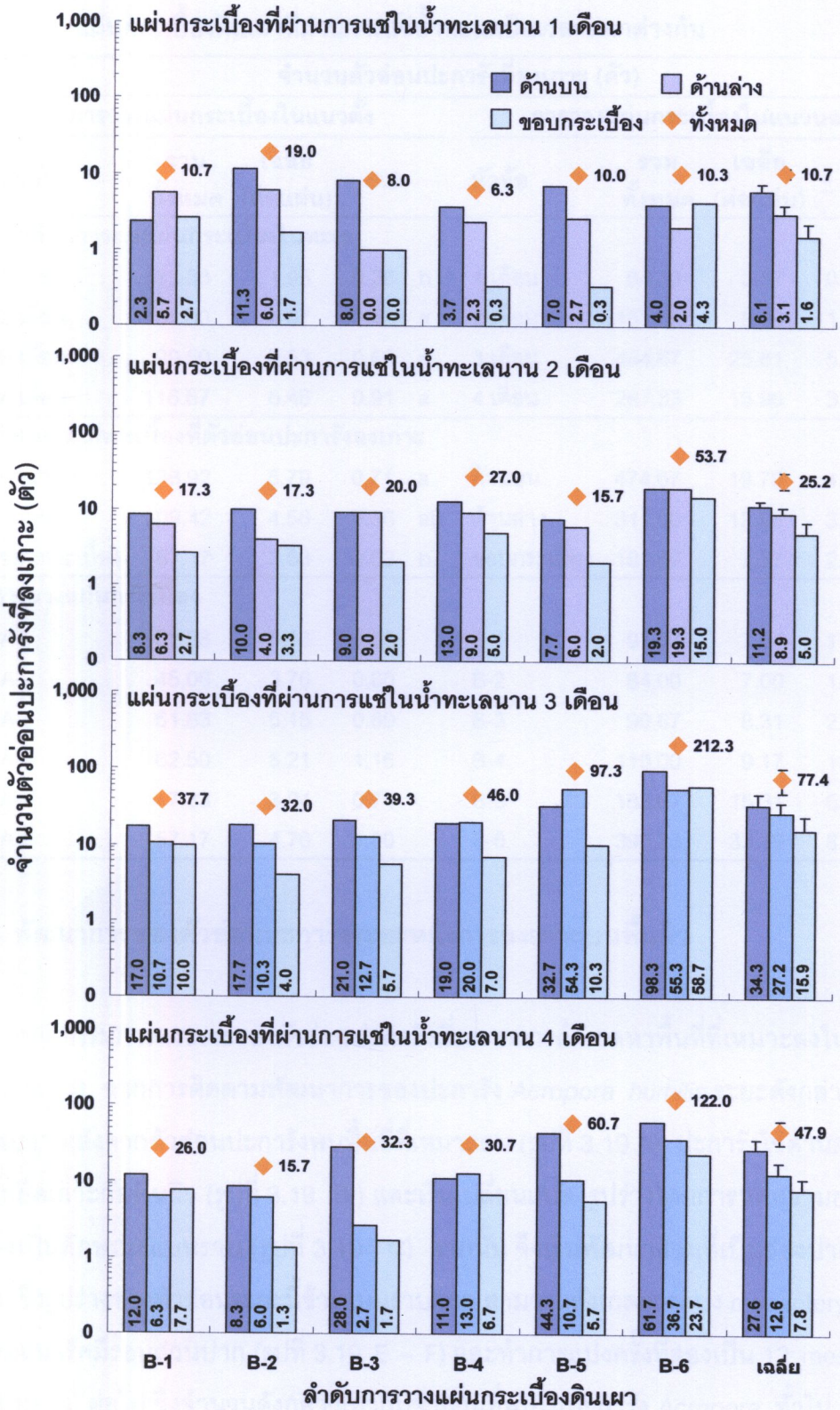
การศึกษาอัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* บนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน ซึ่งวางเป็นแถวในลักษณะแนวตั้งและแนวนอนภายในถังอนุบาลแสดงในรูปที่ 3.17 – 3.18 ทั้งนี้ ได้ทำการแยกเปรียบเทียบผลความแตกต่างในแต่ลักษณะเนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์ของลักษณะการวางในแนวตั้งและแนวนอนของแผ่นกระเบื้องดินเผาดังกล่าว

ในกรณีการวางแผ่นกระเบื้องในแนวตั้ง (ตารางที่ 3.2) พบความแตกต่างของระยะเวลาในการแช่กระเบื้องดินเผาในน้ำทะเล 1 เดือน ต่ำกว่าระยะเวลา 2 – 4 เดือนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างของการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังตามลำดับของแผ่นกระเบื้องที่วางจากซ้ายไปขวาของทุกระยะเวลาที่แช่ในน้ำทะเล ทั้งนี้ พบการลงเกาะด้านข้างซ้ายของแผ่นกระเบื้องสูงสุด ซึ่งแตกต่างจากบริเวณขอบกระเบื้อง (ต่ำสุด) แต่ไม่แตกต่างจากด้านขวา

สำหรับการวางแผ่นกระเบื้องในแนวนอน (ตารางที่ 3.2) พบการลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเล 3 เดือนสูงสุด ซึ่งแตกต่างจากระยะเวลาอื่นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้น พบการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังสูงสุดบนแผ่นกระเบื้องที่อยู่ตำแหน่งล่างสุดและด้านบนของแผ่นกระเบื้องดินเผา



รูปที่ 3.17 จำนวนตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ทำการลงเกาะบนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลาแตกต่างกันซึ่งวางในแนวตั้งเป็นแถว (n = 6 แผ่น x 3–4 แถว)



รูปที่ 3.18 จำนวนตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ทำการลงเกาะบนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลาแตกต่างกันซึ่งแขวนในแนวนอนเป็นแถว (n = 6 แผ่น x 3–4 แถว)

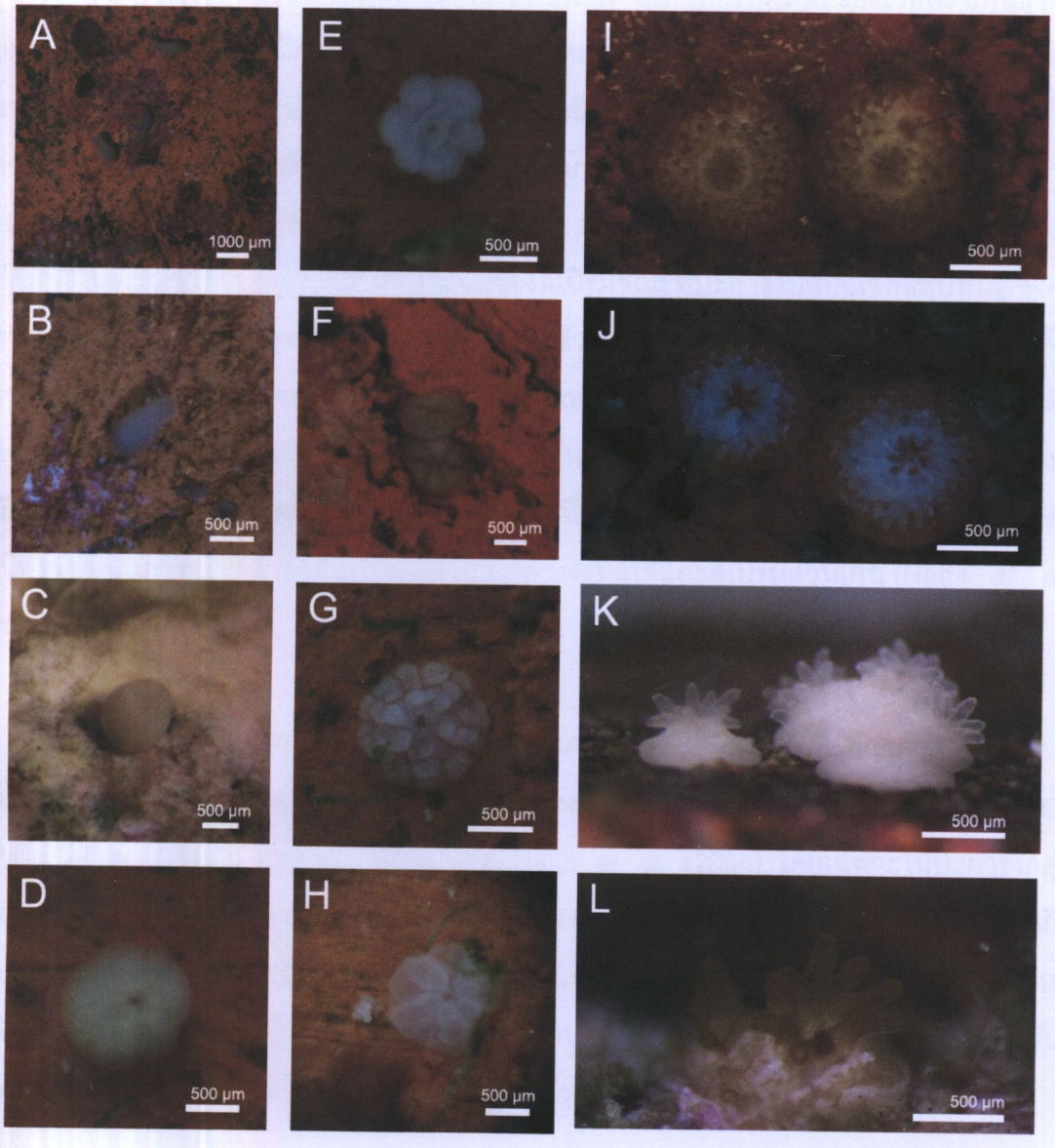
ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ทำการลงเกาะบนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลาแตกต่างกัน

จำนวนตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะ (ตัว)									
การวางแผ่นกระเบื้องในแนวตั้ง					การวางแผ่นกระเบื้องในแนวนอน				
หัวข้อ	รวมทั้งหมด	เฉลี่ย (ต่อแผ่น)	± S.E.		หัวข้อ	รวมทั้งหมด	เฉลี่ย (ต่อแผ่น)	± S.E.	
ระยะเวลาที่ทำการแช่แผ่นกระเบื้องในทะเล									
1 เดือน	35.33	1.96	0.28	b	1 เดือน	64.33	3.57	0.72	c
2 เดือน	84.00	4.67	0.48	a	2 เดือน	151.00	8.39	1.26	c
3 เดือน	99.50	5.53	0.60	a	3 เดือน	464.67	25.81	5.91	a
4 เดือน	116.67	6.48	0.91	a	4 เดือน	287.33	15.96	3.92	b
ตำแหน่งบนแผ่นกระเบื้องที่ตัวอ่อนปะการังลงเกาะ									
ด้านซ้าย	138.92	5.79	0.71	a	ด้านบน	474.67	19.78	4.42	a
ด้านขวา	109.42	4.56	0.56	ab	ด้านล่าง	311.00	12.96	3.07	b
ขอบกระเบื้อง	87.17	3.63	0.53	b	ขอบกระเบื้อง	181.67	7.57	2.47	c
ลำดับการวางแผ่นกระเบื้อง									
A-1	61.58	5.13	1.05		B-1	91.67	7.64	1.25	b
A-2	45.08	3.76	0.60		B-2	84.00	7.00	1.37	b
A-3	61.83	5.15	0.69		B-3	99.67	8.31	2.51	b
A-4	62.50	5.21	1.16		B-4	110.00	9.17	1.81	b
A-5	47.33	3.94	0.74		B-5	183.67	15.31	5.21	b
A-6	57.17	4.76	1.00		B-6	398.33	33.19	8.56	a

3.2.3.4 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว

พฤติกรรมการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังเริ่มจากการสำรวจหาพื้นที่ที่เหมาะลงในการลงเกาะอย่างถาวร จากการติดตามพัฒนาการของปะการัง *Acropora humilis* ระยะดังกล่าว (รูปที่ 3.19) พบว่า หลังจากตัวอ่อนปะการังพบพื้นที่ที่เหมาะสม (รูปที่ 3.19 A) ปะการังใช้ด้านตรงข้ามของปากยึดเกาะกับพื้นผิว (รูปที่ 3.19 B) และเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยการหดความยาวของลำตัวลงเป็นลักษณะแบนราบ (รูปที่ 3.19 C) จากนั้น จึงเริ่มพัฒนาส่วนที่เป็นช่องปาก (รูปที่ 3.19D) ซึ่งรูปร่างของตัวอ่อนระยะนี้ข้างแบนราบมาก สามารถสังเกตการแบ่ง mesentery เป็น 6 ส่วนตามแนวรัศมีรอบส่วนปาก (รูปที่ 3.19 E – F) และทำการแบ่งครั้งที่สองเป็น 12 mesentery (รูปที่ 3.19 G) ต่อไป ซึ่งจำนวนดังกล่าวเท่ากับจำนวนที่พบในปะการัง *Acropora* ทั่วไป ระยะนี้สามารถสังเกตปุ่มหนวดบริเวณรอบปากได้ (รูปที่ 3.19 H) และเป็นระยะที่มีลักษณะเหมือนกับปะการังที่ลงเกาะเรียบร้อย ยกเว้น ยังไม่มีการสร้างโครงร่างแข็งซึ่งมีการสร้างขึ้นในระยะต่อมา (รูปที่ 3.19 I) จากนั้นจึงมีการพัฒนาโครงร่างที่สร้างขึ้นให้มีความซับซ้อนมากขึ้น (รูปที่ 3.19 J)

และกลายเป็นตัวอ่อนปะการังสีขาวที่ลงเกาะบนพื้นผิวอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 3.19 K) ซึ่งตัวอ่อนปะการัง *Acropora* เมื่อมีอายุประมาณ 2–3 สัปดาห์ จึงเริ่มมีการรับสาหร่ายซูแซนเทลลีจากมวลน้ำเข้ามาอยู่ภายในเนื่อเยื่อ (รูปที่ 3.19 L)



รูปที่ 3.19 พัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* หลังการลงเกาะบนพื้นผิว

A: ตัวอ่อนปะการังมีพฤติกรรมว่ายน้ำบริเวณพื้นล่างเพื่อหาพื้นที่เหมาะสมในการลงเกาะบนพื้นผิว; B: ทำการยึดเกาะกับพื้นผิวโดยการใช้ด้านตรงข้ามของปากสัมผัสและยึดติดกับพื้น; C: ลดความยาวลำตัวเป็นลักษณะแบนราบ; D: พัฒนาการส่วนของช่องปาก สังเกต mesentery ได้; E–F: ระยะ 6 mesentery; G: ระยะ 12 mesentery; H: พัฒนาการส่วนที่เป็นหนวดบริเวณรอบปาก; I: ทำการสร้างโครงร่างแข็ง; J: พัฒนาโครงร่างแข็งที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น; K: ระยะการลงเกาะที่สมบูรณ์ ไม่ปรากฏสาหร่ายซูแซนเทลลี (อายุ 1 สัปดาห์); L: ตัวอ่อนปะการังที่รับสาหร่ายซูแซนเทลลีจากมวลน้ำแล้ว (อายุ 1 เดือน)

3.3 วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ในระบบเลี้ยง อัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในห้องปฏิบัติการมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Omori *et al.* (2001) การศึกษานี้ใช้ความหนาแน่นของสเปิร์มขณะปฏิสนธิประมาณ 10^6 ตัวต่อมิลลิลิตร สอดคล้องกับความหนาแน่นของสเปิร์มที่น้อยที่สุดที่ทำให้มีอัตราการปฏิสนธิที่สูงสุดซึ่งมีความเข้มข้นระหว่าง 10^5–10^6 ตัวต่อมิลลิลิตร (Oliver and Babcock, 1992; Willis *et al.*, 1997) ทั้งนี้ อัตราการปฏิสนธิในธรรมชาติขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสเปิร์มขณะที่ปะการังปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งค่าความหนาแน่นดังกล่าวของสเปิร์มมีค่าสูงสุดเฉพาะชั่วโมงแรก และลดลงอย่างรวดเร็วจากการเจือจางในน้ำทะเล ทำให้โอกาสในการปฏิสนธิต่ำ (Omori *et al.*, 2001) ดังนั้น การปฏิสนธิของตัวอ่อนในระบบเลี้ยงที่สามารถควบคุมความเข้มข้นของสเปิร์มได้ทำให้ได้ค่าที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นของสเปิร์มที่มากเกินไปอาจส่งผลให้อัตราการปฏิสนธิต่ำเนื่องจากคุณภาพน้ำที่ต่ำลงอันเป็นผลจากการล้างเซลล์ไข่และสเปิร์มส่วนเกิน (Hatta *et al.*, 2004)

อัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังภายในโคโลนีเดียวกันซึ่งมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 3 สอดคล้องกับการศึกษาของ Heyward and Babcock (1986), Harrison and Wallace (1990), Willis *et al.* (1997), Carlon (1999) และ Hatta *et al.* (2004) โดยเฉพาะในปะการังกลุ่ม *Acropora* มีโอกาสเกิดการผสมภายในโคโลนีต่ำ (Hatta *et al.*, 2004) ดังนั้น ผลกระทบที่เกิดจากการผสมภายในโคโลนีเดียวกันของปะการังขณะทำการเคลื่อนย้ายเซลล์สืบพันธุ์ไปยังระบบเลี้ยง (โรงเพาะขยายพันธุ์) จึงส่งผลกระทบที่ต่ำมาก อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนย้ายเซลล์สืบพันธุ์จากธรรมชาติมายังพื้นที่สำหรับอนุบาลควรปฏิบัติด้วยความระมัดระวัง

การติดตามพัฒนาการของปะการังเขากวางทั้ง 4 ชนิด พบว่าลักษณะของการพัฒนาเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Hayashibara *et al.* (1997) และ Ball *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาในปะการังเขากวางชนิดเดียวกันหรือชนิดที่ใกล้เคียงกัน การแบ่งเซลล์ครั้งแรกเกิดขึ้นภายใน 2 ชั่วโมงหลังจากที่เซลล์ไข่ของปะการังได้รับการปฏิสนธิ และมีการแบ่งตัวอย่างทวีคูณและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งชั่วโมงที่ 6 – 12 กลุ่มเซลล์เริ่มมีรูปร่างแบนและกลับมามีรูปร่างกลมอีกครั้งโดยการม้วนของบริเวณขอบกลุ่มเซลล์ หลังจากนั้น จึงเข้าสู่ระยะตัวอ่อนว่ายน้ำระยะแรก ในช่วงนี้ตัวอ่อนเริ่มมีการพัฒนาอวัยวะภายใน จนกระทั่ง

สามารถว่ายน้ำโดยการใช้ซีเลียพัดโบกที่อายุประมาณ 2 วัน และพร้อมสำหรับการลงเกาะที่อายุประมาณ 3 – 4 วัน ทั้งนี้ ระยะเวลาที่ตัวอ่อนใช้ในการพัฒนาจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำมีความแตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในบริเวณนั้น (Ball *et al.*, 2002)

ขนาดของตัวอ่อนปะการังทั้ง 4 ชนิด ใกล้เคียงกัน ประมาณ 700 ไมโครเมตร ซึ่งจัดว่ามีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ ขนาดของตัวอ่อนนี้สามารถบ่งบอกได้ถึงปริมาณของอาหารและพลังงานที่สะสมในตัวอ่อนได้ (Marshall and Keough, 2003) ในขณะที่ตัวอ่อนปะการังดำรงชีวิตในระยะว่ายน้ำ พลังงานที่ใช้ในการดำรงชีวิตมาจากไขมันที่สะสมอยู่ภายในตัวอ่อนนั้น โดยปริมาณของไขมันที่สะสมในตัวอ่อนแตกต่างกันออกไปตามชนิดของปะการังส่งผลต่อลักษณะการดำรงชีวิตของตัวอ่อน อัตรารอดและการกระจาย ตัวอ่อนที่มีปริมาณไขมันสูงสามารถดำรงชีวิตในมวลน้ำได้นานส่งผลให้มีการกระจายออกไปได้ไกล (Zaslow and Benayahu, 1996) ส่วนตัวอ่อนที่มีปริมาณไขมันน้อยมีขอบเขตการกระจายที่แคบ เนื่องจากมีการลอยตัวในมวลน้ำไม่ดีและมีอาหารสะสมน้อย ระบบที่ใช้อนุบาลตัวอ่อนปะการังในการศึกษาครั้งนี้มีระดับอุณหภูมิของน้ำทะเลประมาณ 28 – 30 องศาเซลเซียส (ปกติ) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าการศึกษาอื่น (Hayashibara *et al.*, 1997; Ball *et al.*, 2002; Hatta *et al.*, 2004) อาจเป็นเหตุให้ตัวอ่อนมีพัฒนาการที่ค่อนข้างเร็วกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้ตัวอ่อนมีอัตราการเมตาบอลิซึมที่สูง (Nozawa and Harrison, 2002) อย่างไรก็ตาม หากอุณหภูมิของน้ำมีระดับสูงมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการลงเกาะและเปลี่ยนแปลงรูปร่างก่อนกำหนดตัวอ่อนปะการังมีความพร้อมได้ (Edmunds *et al.*, 2001)

เมื่อตัวอ่อนปะการังพร้อมทำการลงเกาะ พฤติกรรมที่สังเกตได้ชัดเจนคือ อัตราการว่ายน้ำลดลง และเริ่มว่ายน้ำใกล้กับบริเวณผิวที่ทำการลงเกาะ มีการลงสัมผัสเพื่อสำรวจความเหมาะสมหรือคืบคลานบนพื้นผิว (Hayashibara *et al.*, 1997) เมื่อตัวอ่อนลงเกาะบนพื้นผิวที่ให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอ่อนเริ่มขึ้นเพื่อพัฒนาเป็นปะการังโดยสมบูรณ์ต่อไป

อัตราความสำเร็จในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังมีความสัมพันธ์กับอายุของตัวอ่อน ซึ่งมีอัตราการลงเกาะลดลงเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้น อายุที่เหมาะสมซึ่งให้อัตราการลงเกาะสูงสุดในการศึกษาครั้งนี้คือ 4 วันหลังจากการปฏิสนธิ สอดคล้องกับกับการศึกษาของ Morse *et al.* (1996) ในการศึกษาอัตราการลงเกาะของปะการัง *Acropora* 3 ชนิด ได้แก่ *Acropora uasata*, *Acropora digui* และ *Acropora tenuis* ซึ่งพบอัตราการลงเกาะสูงสุดที่อายุประมาณ 5 วัน และสามารถลงเกาะได้ถึงอายุ 16, 27 และ 29 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่า ถึงแม้ว่าตัวอ่อน

สามารถดำรงชีวิตและว่ายน้ำได้เป็นปกติเมื่อมีอายุมากขึ้น เนื่องจากยังคงมีพลังงานที่ได้มาจากไขมันที่สะสม แต่อาจสูญเสียความสามารถในการลงเกาะได้เมื่อมีอายุมากขึ้น เนื่องจากมีพลังงานที่จำเป็นในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการลงเกาะเหลือไม่เพียงพอ (Zaslow and Benayahu, 1996) โอกาสการลงเกาะและความสำเร็จในการลงเกาะจึงลดน้อยลง

ตัวอ่อนปะการังมีอัตราการลงเกาะลงบนพื้นผิวกระเบื้องดินเผาที่ประมาณ ร้อยละ 50 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Petersen *et al.* (2005) ขณะที่การศึกษาของ Negri *et al.* (2001) ที่ตัวอ่อนปะการังมีอัตราการลงเกาะสูงกว่า ร้อยละ 80 อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำ (Nozawa and Harrison, 2000; Ball *et al.*, 2002) และปัจจัยเฉพาะของพื้นที่ รวมถึงความแตกต่างกันของพื้นผิวในการลงเกาะ

การที่ตัวอ่อนปะการังมีอัตราการลงเกาะต่ำเมื่อใช้แผ่นกระเบื้องดินเผาที่ไม่ผ่านการแช่ในทะเลเป็นวัสดุในการลงเกาะ เนื่องจากขาดสารเหนี่ยวนำตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญมากสำหรับสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่มีพฤติกรรมการลงเกาะบนพื้นผิว พบว่า ตัวอ่อนปะการังและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิดอาศัยสารเหนี่ยวนำที่พบร่วมกับสาหร่ายหินปูน (Morse *et al.*, 1988. 1994, 1996; Morse and Morse, 1991; Heyward and Negri, 1999; Negri *et al.*, 2001; Steinberg *et al.*, 2002) ดังนั้น การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการลงเกาะให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ปะการังมีความพร้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มอัตราการลงเกาะให้สูงขึ้น ทั้งนี้ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่กระเบื้องดินเผาในการศึกษาครั้งนี้อยู่ที่ 2 – 3 เดือน ซึ่งแตกต่างกันตามพื้นที่ (Heyward *et al.*, 2002; Taniguchi, 2002; Harrison, 2006) เช่น การศึกษาในบริเวณโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่นพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับแช่แผ่นกระเบื้องที่ใช้ในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังที่หมู่เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น มีระยะเวลานานถึง 1 ปี ในขณะที่จำนวนตัวอ่อนที่ลงเกาะมีค่าที่ลดลงที่กระเบื้องอายุ 4 เดือน (Hatta *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตาม การแช่แผ่นกระเบื้องในทะเลนานเกินไปอาจส่งผลให้สิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น หอยสองฝา เพรียงหิน เพรียงหัวหอม หรืออื่นๆ ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องมากเช่นกัน (Maida *et al.*, 1995) ดังนั้น การนำกระเบื้องเหล่านี้มาใช้ส่งผลให้คุณภาพของน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในระยะเริ่มลงเกาะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งส่งผลให้อัตราการลงเกาะของตัวอ่อนลดลงเช่นกัน

การที่ตัวอ่อนปะการังส่วนใหญ่ลงเกาะในบริเวณด้านข้างและด้านล่างของแผ่นกระเบื้องเนื่องมากจาก พฤติกรรมตามธรรมชาติในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังมีความซับซ้อนมาก เช่น การลงเกาะตามซอก รอยแยก หรือรอยแตกของพื้นผิว (Lewis, 1974; Thongtham and

Chansang, 1999; Petersen *et al.*, 2005) เป็นผลมาจากพฤติกรรมการหนีแสงของตัวอ่อน (Lewis, 1984) ปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพบางชนิด ทั้งความเข้มแสงที่มากเกิน รวมถึงอุณหภูมิที่สูงส่งผลต่อพฤติกรรมการลงเกาะ โดยทำให้อัตราการลงเกาะของตัวอ่อนลดลงกว่าสภาวะปกติ (Suzuki and Hayashibara, 2006)

การอนุบาลตัวอ่อนปะการังจำนวนมากในถังเพาะเลี้ยงขนาดใหญ่ (300 ลิตร) อัตราการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง (จำนวนตัวอ่อน/แผ่น) ของแผ่นกระเบื้องที่วางในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระเบื้องที่วางในแนวนอน โดยเฉพาะพบอัตราการลงเกาะสูงสุดที่กระเบื้องแผ่นล่างสุด เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นและพฤติกรรมของตัวอ่อน (Hayashibara *et al.*, 1997) ดังนั้น ในระบบเลี้ยงขนาดใหญ่ วิธีการวางกระเบื้องในแนวนอนเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จำนวนตัวอ่อนลงเกาะมากและประหยัดพื้นที่ในการเลี้ยง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อตัวอ่อนลงเกาะสมบูรณ์แล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเปลี่ยนกระเบื้องเป็นแนวตั้งเพื่อให้ตัวอ่อนได้รับแสงอย่างเพียงพอ

3.4 รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Ball, E.E., D.C. Hayward, J.S. Reece-Hoyes, N.R. Hisop, G. Samuel, R. Saint, P.L. Harrison and D.J. Miller. 2002. Coral development: from classical embryology to molecular control. International Journal of Developmental Biology 46: 671-678.

Carlon, D.B. 1999. The evolution of mating systems in tropical reef corals. Trends in Ecology and Evolution 14 (12): 491-495.

Edmunds, P.J., R.D. Gates and D.F. Gleason. 2001. The biology of larvae the reef coral *Porites astreoides* and their response to temperature disturbances. Marine Biology 139: 981-989.

Hatta, M., K. Iwao, H Taniguchi and M. Omori. 2004. Restoration technology using sexual reproduction. *In* Manual for restoration and remediation of coral reefs. Edited by Omori., M. and S. Fujiwara. Nature Conservation Bureau. Ministry of the Environment. Japan. pp. 14-28.

Harrison, P.L. 2006. Settlement competency periods and dispersal potential of scleractinian reef coral larvae. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium 78-82.

Harrison, P.L. and C.C. Wallace. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian coral. *In* Coral Reefs. Edited by Z. Dubinsky. Amsterdum: Elsevier, pp 133-207.

Hayashibara, T., S. Ohike and Y. Kakinuma. 1997. Embryonic and larval development and planula metamorphosis of four gamete-spawning *Acropora* (Anthozoa, Scleractinia). Proceedings of 8th International Coral Reef Symposium 2: 1231-1236.

Heyward, A.J. and R.C. Babcock. 1986. Self-and cross-fertilization in scleractinian corals. Marine Biology 90: 191-195.

Heyward, A.J. and A.P. Negri. 1999. Natural inducers for coral larval metamorphosis. Coral Reefs 18: 273-279.

Heyward, A.J., L.D. Smith, M. Rees and S.N. Field. 2002. Enhancement of coral recruitment by *in situ* mass culture of coral larvae. Marine Ecology Progress Series 230: 113-118.

Lewis, J.B. 1974. The settlement behavior of planulae larvae of the hermatypic coral *Favia fragum* (Esper). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 15: 165-172.

Maida, M., P.W. Sammarco and J.C. Coll. 1995. Effects of soft corals on scleractinian coral recruitment. I: directional allelopathy and inhibition of settlement. Marine Ecology Progress Series 121: 191-202.

Marshall, D.J. and M.J. Keough. 2003. Variation in the dispersal potential of non-feeding invertebrate larvae: the desperate larva hypothesis and larval size. Marine Ecology Progress Series 255: 145-153.

Morse, A.N.C., K. Iwao, M. Baba, K. Shimoike, T. Hayashibara and M. Omori. 1996. An ancient chemosensory mechanism brings new life to coral reefs. Biological Bulletin 191: 149-154.

Morse, D.E., N. Hooker, A.N.C. Morse and R.A. Jensen. 1988. Control of larval metamorphosis and recruitment in sympatric agariciid corals. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 116: 193-217.

Morse, D.E. and A.N.C. Morse. 1991. Enzymatic characterization of the morphogen recognized by *Agaricia humilis* (scleractinian coral) larvae. Biological Bulletin 181: 104-122.

Morse, D.E., A.N.C. Morse, P.T. Raimondi and N. Hooker. 1994. Morphogen-based chemical flypaper for *Agaricia humilis* (scleractinian coral) larvae. Biological Bulletin 181:104-122.

Negri, A.P., N.S. Webster, R.T. Hill and A.J. Heyward. 2001. Metamorphosis of broadcast spawning corals in response to bacteria isolated from crustose algae. Marine Ecology Progress Series 223: 121-131.

Nozawa, Y. and P.L. Harrison. 2002. Larval settlement patterns, dispersal potential, and the effect of temperature on settlement of larvae of the reef coral, *Platygyra deadalea*, from the Great Barrier Reef. Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium 1: 409-415.

Oliver, J.K. and R.C. Babcock. 1992. Aspects of the fertilization ecology of broadcast spawning corals: sperm dilution effects and *in situ* measurements of fertilization. Biological Bulletin 183: 409-417.

Omori, M., H. Fukami , H. Kobinata and M. Hatta. 2001. Significant drop of fertilization of *Acropora* corals in 1999: an after-effect of heavy coral bleaching?. Limnology and Oceanography 46 (3): 704-706.

Petersen, D., M. Laterveer and H. Schuhmacher. 2005. Spatial and temporal variation in larval settlement of reefbuilding corals in mariculture. Aquaculture 249: 317-327.

Steinberg, P.D., R.D. Nys and S. Kjelleberg. 2002. Chemical cues for surface colonization. Journal of Chemical Ecology 28 (10): 1935-1951.

Suzuki G. and T. Hayashibara. 2006. Inhibition of settlement and metamorphosis in *Acropora* (Anthozoa, Scleractinia) larvae by high-intensity light. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium 1627-1630.

Taniguchi, H. 2002. Study on seeding production of hermatypic coral : examination of conditions for intermediate rearing. Abstracts of 5th Symposium of the Japanese Coral Reef Society: 19. (in Japanese)

Thongtham, N. and H. Chansang. 1999. Influence of surface complexity on coral recruitment at Maiton island, Phuket, Thailand. Phuket Marine Biological Center Special Publication 20: 93-100.

Willis, B.L., R.C. Babcock, P.L. Harrison and C.C. Wallace. 1997. Experimental hybridization and breeding incompatibilities within the mating system of mass spawning reef corals. Coral Reefs 16: s53-s65.

Zaslow, R.B. and Y. Benayahu. 1996. Longevity, competence and energetic content in planulae of the soft coral *Heteroxenia fuscescens*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 206: 55-68.

บทที่ 4

อัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora* spp. ระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว

ในระบบนิเวศปะการัง หลังจากที่ตัวอ่อนปะการังประสบความสำเร็จในการลงเกาะบนพื้นผิวโดยสมบูรณ์แล้ว ระยะหลังการลงเกาะเป็นอีกระยะหนึ่งที่ตัวอ่อนปะการังมีอัตราการตายค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นระยะที่ตัวอ่อนปะการังต้องปรับตัวจากการดำรงชีวิตในมวลน้ำเป็นการดำรงชีวิตอย่างถาวรบนพื้น ปัจจัยทางกายภาพต่างๆ เช่น ปริมาณตะกอนในทะเล ปริมาณแสงที่ส่องผ่านมวลน้ำ รวมถึงปัจจัยทางทางชีวภาพ โดยเฉพาะการถูกล่าและการแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่นล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความอยู่รอดของตัวอ่อนปะการังระยะนี้ทั้งสิ้น การนำตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะมาอนุบาลในระบบเลี้ยง จึงเป็นการลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากปัจจัยธรรมชาติภายนอกอื่นๆ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตรารอดและการเติบโตของปะการังให้สูงขึ้นได้ อันเป็นการช่วยให้ปะการังมีความสามารถในการแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่นก่อนนำไปย้ายปลูกในธรรมชาติต่อไป ดังนั้น การติดตามอัตรารอดและการเติบโตของปะการังระยะนี้ในระบบเลี้ยงจึงสามารถบอกถึงความเป็นไปได้ในการอนุบาลปะการังในระบบเลี้ยงในอนาคต

4.1 วิธีดำเนินการศึกษา

4.1.1 ชนิดของปะการังที่ใช้ในการศึกษา

ทำการศึกษาในปะการัง *Acropora humilis* (รูปที่ 2.1 A) โดยใช้ตัวอ่อนปะการังดังกล่าวจากหัวข้อ 3.2.3 ในระยะหลังการลงเกาะมาทำการอนุบาลในระบบเลี้ยงเป็นระยะเวลา 9 เดือน

4.1.2 พื้นที่ศึกษา

อนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะ ณ โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการังชั่วคราว เกาะแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เช่นเดียวกับข้อ 3.1.2 (รูปที่ 3.1)

4.1.3 ขั้นตอนการศึกษา

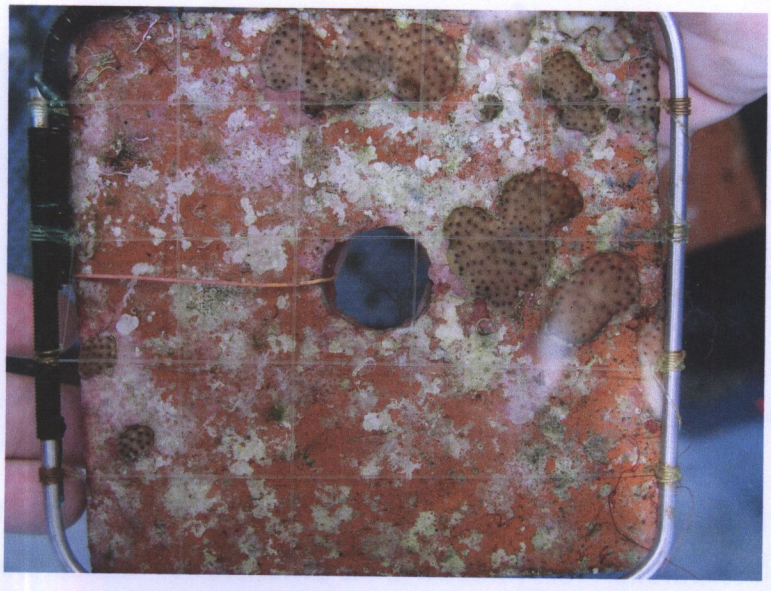
แบ่งขั้นตอนการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิวเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาอัตรารอดและอัตราการเติบโตของตัวอ่อนปะการัง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.3.1 อัตรารอดของปะการังระยะหลังการลงเกาะ

ศึกษาอัตรารอดของปะการัง *Acropora humilis* ระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิว 2 รอบปี โดยในรอบปี 2548/2549 ทำการศึกษาหลังจากที่ตัวอ่อนปะการังประสบความสำเร็จในการลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้น จึงนำตัวอ่อนปะการังไปอนุบาลต่อในกระชังใต้ทะเล บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะแสมสาร ระดับความลึกประมาณ 2.5 เมตรจากผิวน้ำทะเล ติดตามตัวอ่อนปะการังที่มีชีวิตทั้งหมดบนแผ่นกระเบื้องดินเผาทุกเดือน เป็นเวลา 7 เดือน โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตรารอดของตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะบนกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลเป็นเวลา 1, 2 และ 3 เดือน จำนวน 5, 5 และ 12 แผ่น ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาในรอบปี 2549/2550 ทำการศึกษาในระบบเลี้ยง ณ โรงเพาะขยายพันธุ์ปะการังชั่วคราว โดยสุ่มแผ่นกระเบื้องดินเผาขนาดเดียวกัน (10x10 ตารางเซนติเมตร) ที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเล 3 เดือน จำนวน 50 แผ่น ที่มีตัวอ่อนปะการังลงเกาะโดยสมบูรณ์เรียบร้อยแล้วมาอนุบาลในระบบเลี้ยง ติดตามอัตรารอดของตัวอ่อนปะการังทุกเดือน เป็นเวลา 9 เดือน นอกจากนั้น เปรียบเทียบอัตรารอดของตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ระดับความหนาแน่นตั้งต้นต่อแผ่นแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ความหนาแน่นต่ำ (0 – 25 ตัว) กลาง (26 – 50 ตัว) และ สูง (51 – 100 ตัว)

ทั้งนี้ วิธีการนับตัวอ่อนปะการังที่มีชีวิตใช้ตารางสี่เหลี่ยม (quadrat) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และการอนุบาลตัวอ่อนปะการังบนแผ่นกระเบื้องดินเผาระยะนี้ใช้วิธีการแขวนแผ่นกระเบื้องกลางมวลน้ำในแนวตั้ง



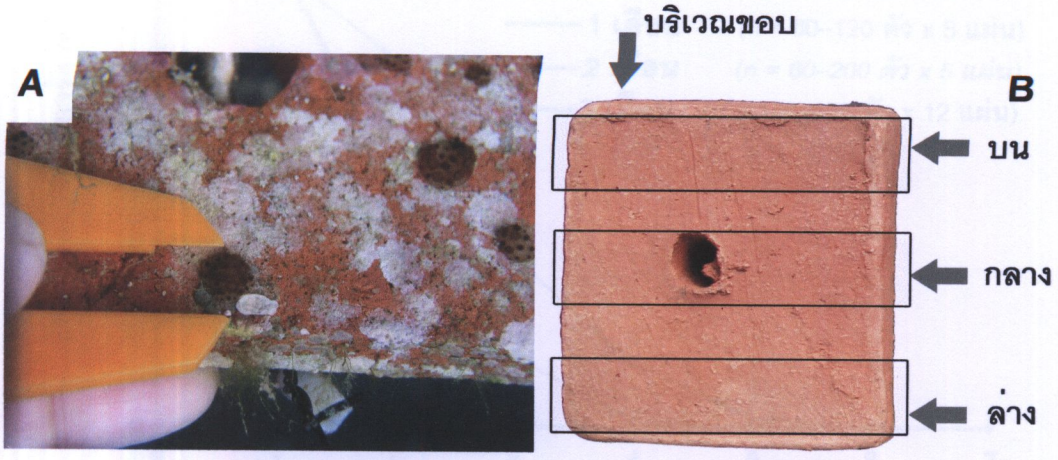
รูปที่ 4.1 การติดตามอัตรารอดของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* บนแผ่นกระเบื้องดินเผาโดยใช้ตารางสี่เหลี่ยม

4.1.3.2 อัตราการเติบโตของปะการังระยะหลังการลงเกาะ

ประเมินอัตราการเติบโตของปะการัง *Acropora humilis* ระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิวโดยการสุ่มตัวอ่อนปะการังจำนวน 50 ตัว ที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 10 แผ่น (สุ่มเลือกแผ่นละ 4 – 7 ตัว) มาอนุบาลในระบบเลี้ยง โดยกำหนดหมายเลขแผ่นกระเบื้องดินเผาและระบุตำแหน่งของตัวอ่อนปะการัง การติดตามการเติบโตใช้วิธีการวัดขนาด (ความกว้างและความยาว) ของตัวอ่อนปะการังโดยเวอร์เนียทุกเดือน เป็นเวลา 9 เดือน (รูปที่ 4.2 A) นอกจากนั้น ทำการเปรียบเทียบการเติบโตของตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะบนตำแหน่งที่แตกต่างกันของแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งแขวนอยู่กลางมวลน้ำในแนวตั้ง ได้แก่ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง รวมถึงขอบของแผ่นกระเบื้อง (รูปที่ 4.2 B)

ทั้งนี้ อัตราการเติบโตของปะการังในการศึกษาครั้งนี้ คำนวณจากเปอร์เซนต์ของความยาวปะการังที่เพิ่มขึ้นต่อเดือน ดังนี้

$$\text{เปอร์เซนต์ความยาวที่เพิ่มขึ้นต่อเดือน} = \frac{\text{ความยาวสุดท้าย} - \text{ความยาวตั้งต้น}}{\text{ความยาวตั้งต้น} \times \text{ระยะเวลา (เดือน)}} \times 100$$



รูปที่ 4.2 การวัดขนาดตัวอ่อนปะการังและการกำหนดตำแหน่งบนกระเบื้องดินเผา
A: การวัดขนาดของตัวอ่อนปะการังโดยใช้เวอร์เนีย และ B: การแบ่งส่วนของตำแหน่งบนกระเบื้องดินเผาที่ใช้ติดตามอัตราการเติบโตของตัวอ่อนปะการัง

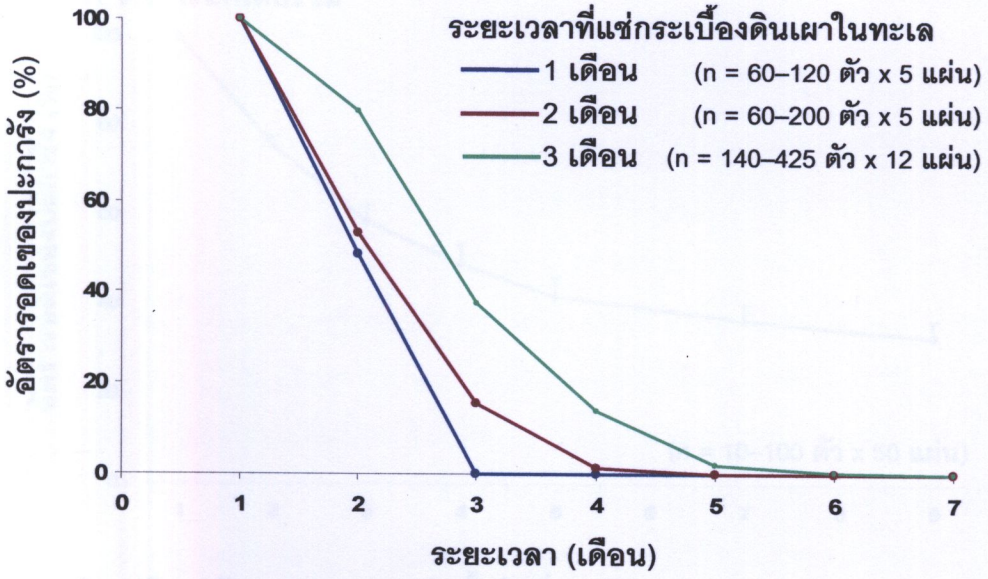
4.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ One Way ANOVA และ Tukey-Pairwise Mean Comparison เพื่อเปรียบเทียบอัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะในระบบเลี้ยง

4.2 ผลการศึกษา

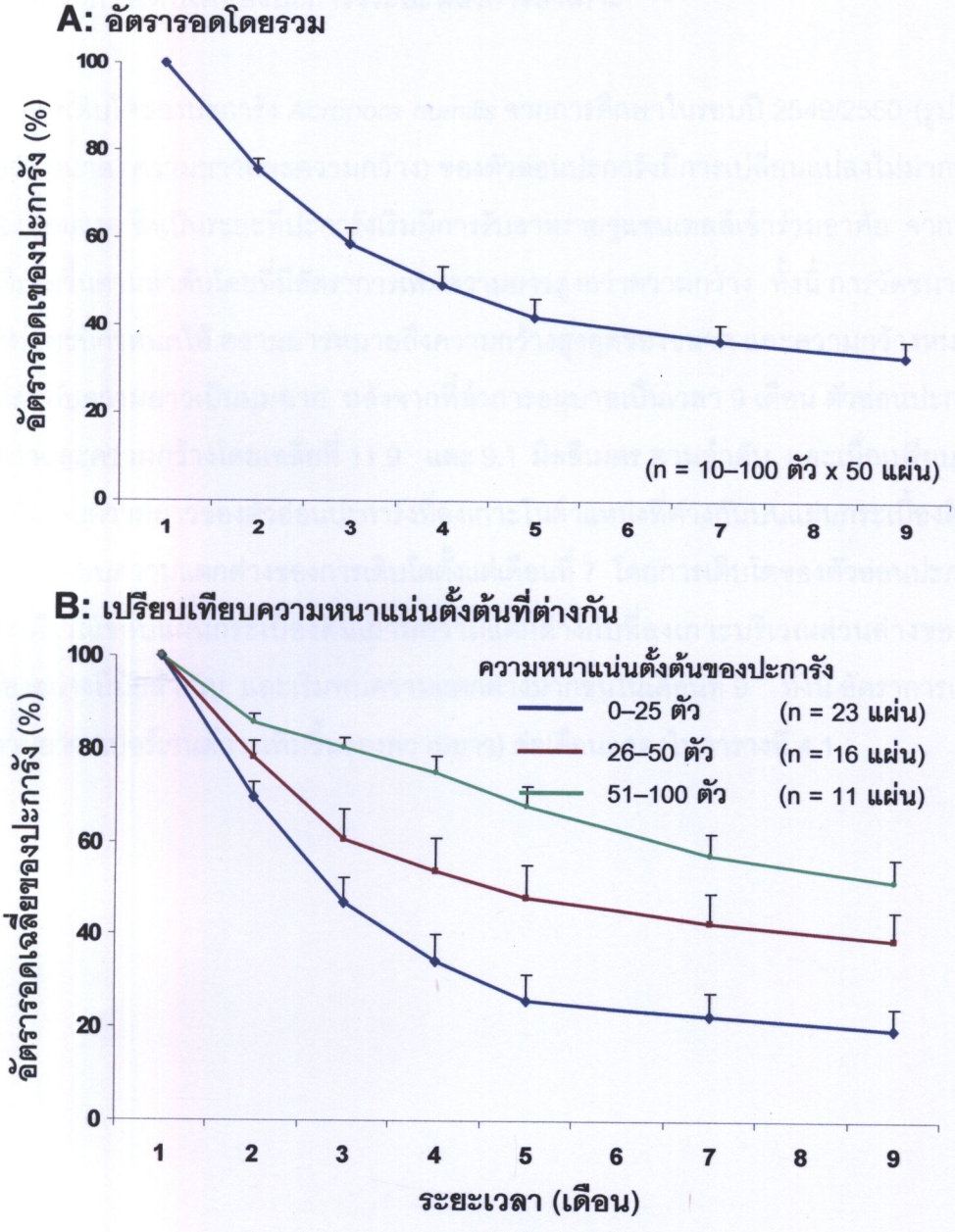
4.2.1 อัตรารอดของปะการังระยะหลังการลงเกาะ

ผลการศึกษาอัตรารอดของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ระยะหลังการลงเกาะในรอบปี 2548/2549 (รูปที่ 4.3) พบว่า ตัวอ่อนปะการังมีอัตราการตายค่อนข้างสูง (มากกว่าร้อยละ 60) ในระยะ 3 เดือนแรก โดยอัตรารอดของตัวอ่อนที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลเป็นเวลา 1, 2 และ 3 เดือน เป็นศูนย์ตั้งแต่เดือนที่ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งอัตรารอดต่อเดือนของปะการังที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องที่ผ่านการแช่น้ำทะเลเป็นเวลา 3 เดือน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับของแผ่นเบื้องที่แช่ในน้ำทะเลนาน 1 และ 2 เดือน



รูปที่ 4.3 อัตรารอดโดยเฉลี่ยของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่ในทะเลเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน โดยอนุบาลในกระชังใต้ทะเลเป็นเวลา 7 เดือน

สำหรับอัตรารอดของตัวอ่อนปะการังที่อนุบาลในรอบปี 2549/2550 ในระบบเลี้ยง (รูปที่ 4.4 A) พบว่า อัตรารอดของตัวอ่อนปะการังลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 3 เดือนแรกเช่นเดียวกัน หลังจากนั้น อัตรารอดมีแนวโน้มไม่ลดลงมากนัก โดยตัวอ่อนปะการังมีอัตรารอดโดยเฉลี่ย ร้อยละ 42.1 และ 33.0 เมื่ออายุ 5 และ 9 เดือน ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาอัตรารอดเฉลี่ยของตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องโดยมีอัตราความหนาแน่นของตัวอ่อนระยะตั้งต้นต่างกัน 3 ระดับ (รูปที่ 4.4 B) พบว่า อัตรารอดของตัวอ่อนปะการังในเดือนที่ 9 ที่ความหนาแน่นสูงมีอัตรารอดเฉลี่ยสูงสุดที่ ร้อยละ 51.5 ขณะที่ระดับความหนาแน่นต่ำมีอัตรารอดเฉลี่ยต่ำสุดที่ ร้อยละ 19.9 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

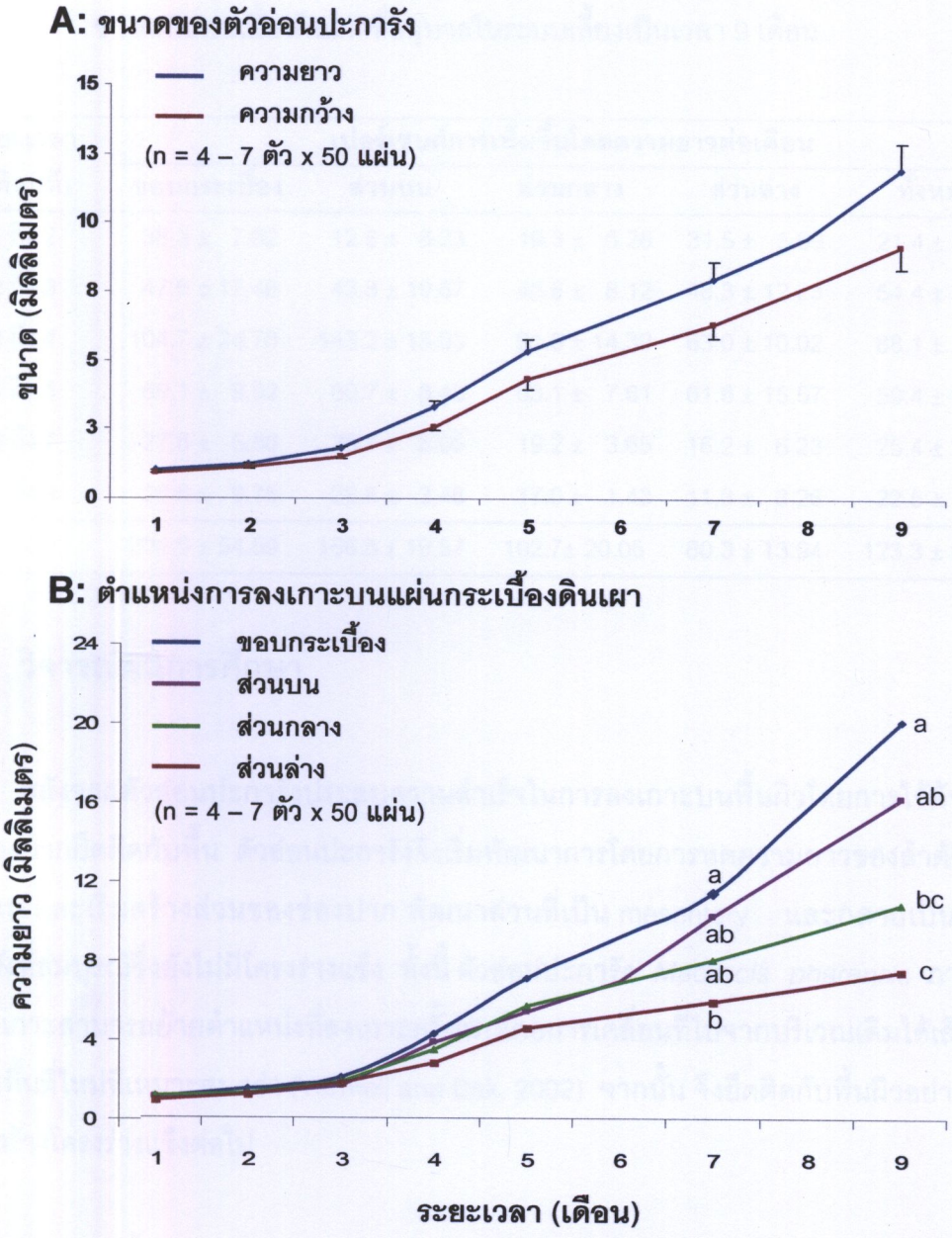


รูปที่ 4.4 อัตรารอดโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่ในทะเลเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยอนุบาลในระบบเลี้ยงเป็นเวลา 9 เดือน

A: อัตรารอดเฉลี่ยโดยรวมทุกระดับความหนาแน่น และ B: อัตรารอดเปรียบเทียบระหว่างความหนาแน่นตั้งต้นของตัวอ่อนปะการังที่ต่างกัน

4.2.2 อัตราการเติบโตของปะการังระยะหลังการลงเกาะ

การเติบโตของปะการัง *Acropora humilis* จากการศึกษาในรอบปี 2549/2550 (รูปที่ 4.5 A) พบว่า ขนาด (ความยาวและความกว้าง) ของตัวอ่อนปะการังมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในระยะ 2 เดือนแรก ซึ่งเป็นระยะที่ปะการังเริ่มมีการรับสาหร่ายซูแซนเทลลีเข้าร่วมอาศัย จากนั้นจึงมีการเติบโตขึ้นตามลำดับโดยที่มีอัตราการเพิ่มความยาวสูงกว่าความกว้าง ทั้งนี้ การวัดขนาดของปะการังระยะนี้กำหนดให้ ความยาวหมายถึงความกว้างสูงสุดของขนาด และความกว้างหมายถึงขนาดที่ตัดกับความยาวเป็นมุมฉาก หลังจากที่ทำการอนุบาลเป็นเวลา 9 เดือน ตัวอ่อนปะการังมีความยาวและความกว้างโดยเฉลี่ยที่ 11.9 และ 9.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการเติบโตโดยความยาวของตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะในตำแหน่งที่ต่างกันบนแผ่นกระเบื้องดินเผา (รูปที่ 4.5 B) พบความแตกต่างของการเติบโตตั้งแต่เดือนที่ 7 โดยการเติบโตของตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะบริเวณขอบแผ่นกระเบื้องดินเผามีความแตกต่างกับที่ลงเกาะบริเวณส่วนล่างของแผ่นกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญ และเริ่มพบความแตกต่างมากขึ้นในเดือนที่ 9 ทั้งนี้ อัตราการเติบโตโดยความยาว (เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของความยาว) ต่อเดือนแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 ขนาดโดยเฉลี่ย (± S.E.) ของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ลงเกาะบนแผ่นกระเบื้องดินเผาซึ่งผ่านการแช่ในทะเลเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยอนุบาลในระบบเลี้ยงเป็นเวลา 9 เดือน

A: ขนาดของตัวอ่อนปะการัง และ B: ความยาวของปะการังที่ลงเกาะบนบริเวณส่วนต่างๆ ของกระเบื้องดินเผา

ตารางที่ 4.1 อัตราการเติบโตของตัวอ่อนปะการัง *Acropora humilis* ที่ลงเกาะบนตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นกระเบื้องดินเผาที่อนุบาลในระบบเลี้ยงเป็นเวลา 9 เดือน

ระยะเวลา (เดือนที่)	เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นโดยความยาวต่อเดือน				
	ขอบกระเบื้อง	ส่วนบน	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง	ทั้งหมด
1 ถึง 2	38.3 ± 7.62	12.6 ± 8.23	19.3 ± 6.28	31.5 ± 5.69	21.4 ± 3.72
2 ถึง 3	47.6 ± 17.48	43.8 ± 19.67	45.6 ± 8.12	48.3 ± 12.23	54.4 ± 7.46
3 ถึง 4	104.7 ± 24.78	143.2 ± 15.03	91.5 ± 14.39	63.0 ± 10.02	88.1 ± 7.63
4 ถึง 5	69.1 ± 9.02	80.7 ± 8.43	63.1 ± 7.61	61.8 ± 15.57	59.4 ± 5.64
5 ถึง 7	27.6 ± 5.56	25.7 ± 6.05	19.2 ± 3.65	16.2 ± 6.23	25.4 ± 2.61
7 ถึง 9	36.6 ± 9.75	28.8 ± 3.46	17.0 ± 1.43	11.3 ± 3.26	22.5 ± 1.82
1 ถึง 9	208.5 ± 54.59	166.5 ± 19.57	102.7± 20.05	80.3 ± 13.94	123.3 ± 9.67

4.3 วิจารณ์ผลการศึกษา

หลังจากตัวอ่อนปะการังประสบความสำเร็จในการลงเกาะบนพื้นผิวโดยการใช้ด้านตรงข้ามของปากยึดติดกับพื้น ตัวอ่อนปะการังจึงเริ่มพัฒนาการโดยการหดความยาวของลำตัวลงในแนวราบ และเริ่มสร้างส่วนของช่องปาก พัฒนาส่วนที่เป็น mesentery และกลายเป็นโพลิบปะการังที่สมบูรณ์ซึ่งยังไม่มีโครงร่างแข็ง ทั้งนี้ ตัวอ่อนปะการัง *Madracis pharensis* ภายหลังการลงเกาะสามารถย้ายตำแหน่งที่ลงเกาะครั้งแรกโดยการเคลื่อนที่ไปจากบริเวณเดิมได้เล็กน้อยเพื่อหาพื้นที่ใหม่ที่เหมาะสมกว่า (Vermeij and Bak, 2002) จากนั้น จึงยึดติดกับพื้นผิวอย่างถาวรพร้อมสร้างโครงร่างแข็งต่อไป

นอกจากนั้น พบว่า ตัวอ่อนปะการังหลังการลงเกาะในระยะแรกที่มีการลงเกาะในพื้นที่ใกล้เคียงกันบางตัว อาจมีการรวมตัวเป็นโคโลนีเดียวกันหรือปฏิเสธกันได้ ขณะที่ตัวอ่อนปะการังภายหลังการลงเกาะและมีพัฒนาในระยะหนึ่ง เมื่อมีการขยายขนาดโคโลนีเข้ามาประชิดกัน ภายหลังจะไม่รวมตัวเข้าด้วยกัน แต่เป็นการปฏิเสธซึ่งกันและกันและก่อให้เกิดการแข่งกันกันเองได้ในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปะการัง *Stylophora pistillata* ที่โคโลนีของปะการังมีการปฏิเสธและแข่งขันกันเองเมื่อแต่ละโคโลนีมีพัฒนาการครอบคลุมพื้นที่เข้าหากัน (Frank *et al.*, 1997)

การที่อัตรารอดของตัวอ่อนปะการังระยะหลังลงเกาะค่อนข้างต่ำในระยะ 2 เดือนแรกหลังการลงเกาะบนพื้นผิว และมีการเติบโตค่อนข้างคงที่นั้น ระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่สำคัญอย่างยิ่งในการอยู่รอดของตัวอ่อนปะการัง เนื่องจากจำเป็นต้องนำสาหร่ายซูแซนเทลลีเข้ามาอยู่ร่วมอาศัยภายในตัวปะการัง ซึ่งปะการังได้รับประโยชน์จากการที่สาหร่ายซูแซนเทลลีเป็นแหล่งผลิตอาหารและพลังงานที่สำคัญในการดำรงชีวิต จากการติดตามพัฒนาการของปะการัง *Acropora* ในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550 พบว่า สาหร่ายซูแซนเทลลีถูกรับเข้ามาอยู่ภายในเนื้อเยื่อของปะการังเมื่อปะการังมีอายุประมาณ 15–30 วันหลังจากการลงเกาะ ซึ่งสามารถสังเกตุได้จากจุดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อปะการังที่เกิดขึ้นแทนที่เนื้อเยื่อสีขาว จากนั้นปะการังจึงเริ่มขยายขนาดของโคโลนีเข้าสู่ระยะการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแบ่งตัวต่อไป ทั้งนี้การนำสาหร่ายซูแซนเทลลีเข้าสู่ตัวของปะการังเกิดขึ้นได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งคือ การได้รับเข้ามาภายในช่องว่างของลำตัวผ่านทางช่องปาก และถูกดึงเข้าสู่ร่างกายโดยกระบวนการ phagocytes ผ่านทางเนื้อเยื่อชั้นใน และเนื้อเยื่อชั้นนอก (Schwarz *et al.*, 1999)

การที่ตำแหน่งในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังส่งผลถึงอัตรารอดและการเติบโตได้เป็นผลมาจากปัจจัยของปริมาณแสงที่ตัวอ่อนปะการังได้รับ ตัวอ่อนปะการังขณะทำการลงเกาะจะมีพฤติกรรมหนีแสงและลงเกาะในบริเวณที่เป็นซอก หลืบ หรือมุม เพื่อหลีกเลี่ยงศัตรูหรือผู้ล่าอื่น รวมถึงปริมาณของตะกอนแขวนลอยในมวลน้ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อปะการังลงเกาะอย่างสมบูรณ์และได้รับสาหร่ายซูแซนเทลลีแล้ว ปะการังจำเป็นต้องได้รับแสงเนื่องจากเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเติบโตของปะการังผ่านการดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกับสาหร่ายซูแซนเทลลี ซึ่งสอดคล้องกับการอนุบาลปะการังระยะนี้ที่ใช้การวาง/แขวนแผ่นกระเบื้องดินเผาในแนวตั้งในการอนุบาลปะการัง เนื่องจากบริเวณขอบกระเบื้องดินเผาด้านบนซึ่งเป็นตำแหน่งสูงที่สุดมีโอกาสได้รับปริมาณแสงจากธรรมชาติสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปะการังที่ลงเกาะบริเวณด้านล่างของแผ่นกระเบื้องนั้น ทำให้อัตราการเติบโตของปะการังบริเวณขอบกระเบื้องดินเผาสูงกว่าปะการังบริเวณด้านล่างของแผ่นกระเบื้องดินเผาอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้น การแขวนแผ่นกระเบื้องในแนวตั้งเป็นการลดโอกาสการตกและสะสมของตะกอนในมวลน้ำเข้ามาสู่ตัวอ่อนปะการังที่ยังมีขนาดเล็ก และไม่สามารถป้องกันการทับถมของตะกอนได้ ลักษณะการวางพื้นผิวในธรรมชาติเพื่อใช้เป็นพื้นที่ในการลงเกาะของตัวอ่อนปะการังในแนวระนาบส่งผลต่ออัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อน โดยตัวอ่อนปะการังที่ลงเกาะบริเวณด้านบนมีอัตราการตายสูงที่สุดระยะแรก เนื่องจากการทับถมของตะกอน แต่หลังจากที่ตัวอ่อนปะการังมีอายุ 5 เดือน พบอัตราการเติบโตสูงสุดในปะการังที่อยู่บริเวณด้านบนเนื่องจากเป็นพื้นที่ได้รับปริมาณแสงสูงกว่า (Babcock and Mundy, 1996)

ปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออัตรารอดหรือยับยั้งการเติบโตของตัวอ่อนปะการัง ได้แก่ การแข่งขัน (competition) ซึ่งรวมถึงตัวอ่อนของปะการังด้วยกันเองและ/หรือสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น จากข้อจำกัดของการอนุบาลปะการังในการเพาะขยายพันธุ์ในรอบปี 2548/2549 ที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายตัวอ่อนปะการังภายหลังการลงเกาะในระบบเลี้ยงเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ มาทำการอนุบาลต่อในกระชังใต้ทะเลที่แขวนในระดับความลึก 2.5 เมตรจากผิวน้ำทะเล พบว่าอัตราการตายของตัวอ่อนปะการังสูงมากเนื่องมาจากปริมาณการสะสมของตะกอนแขวนลอยในพื้นที่อนุบาลที่ค่อนข้างสูง รวมถึง ความสามารถในการแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่น ขณะที่ปะการังตามธรรมชาติในพื้นที่มีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ สิ่งมีชีวิตอื่นหลายชนิดมีการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์เช่นเดียวกัน พบตะกอนตกทับถมแผ่นกระเบื้องดินเผาที่แขวนตามแนวตั้งในมวลน้ำ รวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น สาหร่ายและเพรียงจำนวนมากลงเกาะทับ แก่งแย่งพื้นผิวที่ครอบคลุม หรือบดบังแสงที่มีความสำคัญต่อปะการัง นอกจากนั้น อัตราการเติบโตที่ค่อนข้างช้ายังส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันต่ำ และสูญเสียตัวอ่อนปะการังทั้งหมดภายในระยะเวลา 6 เดือนหลังจากทำการอนุบาลในกระชัง :ซึ่งตะกอนแขวนลอยที่มีปริมาณสูงในพื้นที่ส่งผลให้อัตราการลงเกาะและอัตรารอดของปะการังลดลง (Birrell *et al.*, 2005) แตกต่างจากการเพาะขยายพันธุ์ปะการัง *Acropora tenuis* (Omori, 2005) บริเวณหมู่เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ที่ประสบความสำเร็จสูง เนื่องมาจากปราศจากปัญหาด้านตะกอนแขวนลอยและผู้ล่าอื่น

การปรับปรุงวิธีการอนุบาลตัวอ่อนปะการังในรอบปี 2549/2550 โดยการอนุบาลในโรงเพาะขยายพันธุ์ปะการังชั่วคราว เกาะแสมสาร ซึ่งเป็นระบบเลี้ยงบนบก มีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการัง คือ ปริมาณของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Birrell *et al.*(2005) การที่สาหร่ายมีอัตราการเติบโตที่รวดเร็วกว่าส่งผลให้เกิดการบดบังของแสง ปะการังไม่สามารถได้รับแสงในปริมาณที่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม ได้มีการเพาะเลี้ยงหอยนมสาว *Trochus niloticus* ควบคู่กับการอนุบาลปะการัง เพื่อให้ลูกหอยช่วยทำหน้าที่กำจัดสาหร่ายดังกล่าวที่เกิดขึ้นมาแข่งขันกับปะการัง (Omori, 2005) ทั้งนี้ขนาดที่เหมาะสมของหอยนมสาวควรมีขนาดเล็ก เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อตัวอ่อนปะการังขณะการขูดกินสาหร่าย (Omori, 2005)

จากการนำเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง *Acropora humilis* ในธรรมชาติ มาทำการเพาะฟักและขยายพันธุ์ในระบบเลี้ยง ซึ่งพบอัตราการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ที่ ร้อยละ 95 อัตราการพัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (อัตรารอดของตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ) ที่ ร้อยละ 88 อัตราความสำเร็จในการลงเกาะที่ ร้อยละ 75 จนกระทั่ง อัตรารอดภายหลังการลงเกาะ ณ ปัจจุบันที่

อายุ 9 เดือน มีค่า ร้อยละ 33 นั้น นับได้ว่าเป็นอัตรารอดของปะการังที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตรารอดของปะการัง *Acropora* ในธรรมชาติ ทั้งนี้ สัดส่วนการทดแทนปะการังแต่ละกลุ่มในธรรมชาติพบว่า ปะการังกลุ่ม Pocilloporidae มีค่าสูงถึงร้อยละ 80 กลุ่ม Faviidae อยู่ที่ ร้อยละ 16 ในขณะที่ปะการังกลุ่ม Acroporidae มีเพียง ร้อยละ 3.5 เท่านั้น (Dunstan and Johnson, 1998)

ดังนั้น การพัฒนาวิธีการเพาะขยายพันธุ์ปะการังในระบบเลี้ยงโดยให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับพื้นที่ ตลอดจน มีอัตราการเติบโตที่ดี และมีอัตรารอดสูง เพื่อนำปะการังดังกล่าวไปใช้ในการฟื้นฟูแนวปะการังที่ต้องการ เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถนำเป็นใช้ควบคู่กับการฟื้นฟูแนวปะการังโดยวิธีอื่นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในบริเวณที่มีอัตราการเกาะของตัวอ่อนปะการังตามธรรมชาติต่ำ

4.4 รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Babcock, R. and C. Mundy. 1996. Coral recruitment: consequences of settlement choice for early growth and survivorship in two scleractinians. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 206: 179-201.

Birrell, C.L., L.J. McCook and B.L. Willis. 2005. Effects of algal turfs and sediment on coral settlement. Marine Pollution Bulletin 51: 408-414.

Dunstan, P.K. and C.R. Johnson. 1998. Spatio-temporal variation in coral recruitment at different scales on Heron Reef, southern Great Barrier Reef. Coral Reefs 17: 71-81.

Frank, U., U. Oren, Y. Loya and B. Rinkevich. 1997. Alloimmune maturation in the coral *Stylophora pistillata* is achieved through three distinctive stages, 4 months post-metamorphosis. Proceedings of the Royal Society of London Biological 264: 99-104.

Omori, M. 2005. Success of mass culture of *Acropora* corals from egg to colony in open water. Coral Reefs 24: 563.

Schwarz, J.A., D.A. Krupp and V.M. Weis. 1999. Late larval development and onset of symbiosis in the scleractinian coral *Fungia scutaria*. Biological Bulletin 196: 70-79.

Vermeij, M.J.A. and R.P.M. Bak. 2002. Corals on the move: rambling of *Madracis pharensis* polyps early after settlement. Coral Reefs 21: 262-263.

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการัง

การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังเขากวางทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ *Acropora humilis*, *Acropora hyacinthus*, *Acropora millepora* และ *Acropora nasuta* ในรอบปี 2548/2549 และ 2549/2550 มีรอบการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ปีละ 1 ครั้ง ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน เซลล์ไข่ระยะที่สามารถมองเห็นด้วยสายตาใช้เวลาพัฒนาการประมาณ 5 – 6 เดือน ก่อนทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังในบริเวณที่ทำการศึกษาเป็นแบบฤดูกาลเดียว ระหว่างเดือนมกราคม – เดือนมีนาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิของน้ำทะเลกำลังเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังยังมีความสัมพันธ์กับวิถีของดวงจันทร์ โดยปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อย (5 – 12 ค่ำ) ส่งผลให้โอกาสในการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น

5.2 พัฒนาการของไข่ปะการังในระบบเลี้ยง

5.2.1 ระยะการปฏิสนธิของไข่และสเปิร์ม

หลังจากที่เซลล์ไข่ปะการัง *Acropora* ได้รับการปฏิสนธิ การแบ่งเซลล์ครั้งแรกเกิดขึ้นที่ 0.5 – 2.0 ชั่วโมง อัตราการปฏิสนธิระหว่างโคโลนีโดยเฉลี่ยมีค่า ร้อยละ 90.7 – 96.0 ขณะที่อัตราการผสมระหว่างโคโลนีเดียวกันโดยเฉลี่ยมีค่า ร้อยละ 2.9 – 3.3 หลังจากนั้น ตัวอ่อนปะการังใช้เวลาในการพัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะว่ายน้ำที่อายุประมาณ 36 ชั่วโมง ที่ ร้อยละ 87.2 – 89.8

5.2.2 ระยะตัวอ่อนพร้อมลงเกาะบนพื้นผิว

ตัวอ่อนปะการังระยะว่ายน้ำมีความพร้อมสำหรับการลงเกาะบนพื้นผิวเมื่ออายุประมาณ 4 วัน ระยะนี้ ตัวอ่อนปะการังเริ่มมีพฤติกรรมในการว่ายน้ำสำรวจบริเวณผิวของถังเลี้ยงเมื่อให้พื้นผิวสำหรับการลงเกาะ ตัวอ่อนปะการังเริ่มลงเกาะโดยการใช้ด้านตรงข้ามของปากสัมผัสพื้น

และเริ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่อไป ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 – 4 วัน จึงลงเกาะได้อย่างสมบูรณ์และเริ่มทำการสร้างโครงร่างหินปูน การที่ตัวอ่อนปะการังกลุ่ม *Acropora* ภายหลังการลงเกาะมีสีขาว เนื่องจากตัวอ่อนยังไม่มีการดึงสาหร่ายซูแซนเทลลีเข้ามาร่วมดำรงชีวิต โดยตัวเอ่อนเริ่มดึงสาหร่ายสาหร่ายซูเซนเทลลีเข้ามาร่วมอาศัยในเนื้อเยื่อปะการังภายหลังการลงเกาะประมาณ 2 สัปดาห์

5.2.3 สารเหนี่ยวนำในการลงเกาะบนพื้นผิว

การนำแผ่นกระเบื้องดินเผาไปแช่ในน้ำทะเลเพื่อให้เกิดสาหร่ายหินปูนขึ้นปกคลุมเป็นการเหนี่ยวนำให้ตัวอ่อนปะการังมีอัตราการลงเกาะได้สูงขึ้น พบว่า แผ่นกระเบื้องดังกล่าวที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลเป็นระยะเวลาต่างๆ กัน ส่งผลให้ตัวอ่อนปะการังทำการลงเกาะถึง ร้อยละ 49.0 – 75.0 ในขณะที่อัตราการลงเกาะบนกระเบื้องที่ไม่ผ่านการแช่ในทะเลมีเพียงร้อยละ 2.2 ในปะการัง *Acropora humilis* เท่านั้น ทั้งนี้ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่แผ่นกระเบื้องในทะเลอยู่ที่ประมาณ 2 – 3 เดือน

5.3 อัตรารอดและการเติบโตของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะ

5.3.1 อัตรารอดของตัวอ่อนระยะหลังการลงเกาะ

การนำตัวอ่อนปะการังที่ได้จากการเพาะขยายพันธุ์ในรอบปี 2548/2549 ไปทำการอนุบาลในทะเลหลังจากตัวอ่อนปะการังลงเกาะบนพื้นผิวอย่างสมบูรณ์ (ประมาณ 2 สัปดาห์ หลังการลงเกาะ) พบว่า ตัวอ่อนของปะการังทั้งหมดไม่สามารถแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่นที่ขึ้นร่วมกันบนแผ่นกระเบื้อง รวมถึงไม่สามารถป้องกันปริมาณตะกอนแขวนลอยในแหล่งน้ำที่ตกลงทับถมตัวปะการังได้ ส่งผลให้ตัวอ่อนปะการังมีอัตรารอดและการเติบโตต่ำ และสูญเสียปะการังทั้งหมดหลังจากการอนุบาลในทะเลเป็นเวลา 7 เดือน สำหรับการอนุบาลตัวอ่อนปะการังในระบบเลี้ยงในรอบปี 2548/2549 เพื่อลดปัญหาจากปัจจัยภายนอกตามธรรมชาติดังกล่าวข้างต้น อันเป็นการเสริมให้ปะการังสามารถเติบโตได้ระดับหนึ่งที่สามารถแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่น ตลอดจนปัจจัยกายภาพของธรรมชาติ ก่อนนำไปอนุบาลในทะเล ทั้งนี้ ในระยะ 2 เดือนแรก ตัวอ่อนปะการังมีอัตรารอดต่ำ หลังจากอนุบาลตัวอ่อนปะการังเป็นเวลา 5 เดือน พบอัตรารอดเฉลี่ยที่ ร้อยละ 42.1 ± 4.32 ในเดือนที่ 5 และ ร้อยละ 33.0 ± 3.55 ในเดือนที่ 9

5.3.2 การเติบโตของตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะ

การเติบโตของตัวอ่อนปะการังเป็นไปในทิศทางเดียวกับอัตรารอด โดยขนาดของตัวอ่อนปะการังค่อนข้างคงที่ในช่วง 2 เดือนแรก ขณะที่มีอัตรารอดต่ำ หลังจากที่ตัวอ่อนปะการังสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมโดยมีการขยายขนาดให้เพิ่มขึ้นแล้ว อัตราการตายของปะการังลดลง ตัวอ่อนปะการังอายุ 9 เดือน มีขนาดความยาวสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ 11.9 มิลลิเมตร และมีอัตราการเติบโตสะสมต่อเดือนหลังการอนุบาลเป็นเวลา 9 เดือนที่ ร้อยละ 123.3 ทั้งนี้ อัตราการเติบโตโดยเฉลี่ยต่อเดือนสูงสุดที่ช่วงอายุ 3 - 4 เดือน ร้อยละ 88.1 นอกจากนั้น พบว่า อัตราการเติบโตของตัวอ่อนปะการังมีค่าสูงในบริเวณที่ได้รับปริมาณแสงมาก

5.4 อื่นๆ

จากการติดตามอัตรารอดของตัวอ่อนปะการังในแต่ละระยะที่ทำการศึกษา พบว่า อัตรารอดของปะการังภายหลังการลงเกาะบนพื้นผิว ซึ่งทำการอนุบาลในระบบเลี้ยงเป็นเวลา 9 เดือน มีค่าค่อนข้างสูง (ร้อยละ 33.0 ± 3.55) โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียตัวอ่อนในธรรมชาติตั้งแต่ปะการังเริ่มปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ เนื่องจากในธรรมชาติมีปัจจัยจำนวนมากที่ทำให้เกิดการสูญเสียตัวอ่อนดังกล่าว (Pineda, 2000) อย่างไรก็ตาม การศึกษาเปรียบเปรียบเทียบกับปะการังในธรรมชาติไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากไม่พบตัวอ่อนปะการังกลุ่ม *Acropora* ที่ประสบความสำเร็จในการลงเกาะและสามารถดำรงชีวิตรอดในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง

5.5 รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Pineda, J. 2000. Linking larval settlement to larval transport: assumptions, potentials, and pitfalls. Oceanography of the Eastern Pacific 1: 84-105.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ช่วงเวลาการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังบริเวณพื้นที่ศึกษาในรอบปี 2548/2549 2549/2550 และ 2550/2551

รอบปี	ชนิดปะการัง	วันที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	ข้างขึ้น/แรม	เวลาที่ปะการังพร้อมปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	ช่วงเวลาปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	พื้นที่ศึกษา	จำนวนโคโลนีที่ติดตาม
2548/2549	*Acropora humilis*	18–19 กุมภาพันธ์ 2549	ขึ้น 6–7 ค่ำ	1950	2000 – 2100	เขาหมาจอ	17
		5–6 มีนาคม 2549	แรม 6–7 ค่ำ	1930	2000 – 2100	เขาหมาจอ	6
	Acropora hyacinthus	18 กุมภาพันธ์ 2549	ขึ้น 6 ค่ำ	1920	2040 – 2120	เขาหมาจอ	3
	Acropora millepora	5–10 กุมภาพันธ์ 2549	แรม 7–12 ค่ำ			เกาะเตาหม้อ	10
	Acropora nasuta	5–10 กุมภาพันธ์ 2549	แรม 7–12 ค่ำ			เกาะเตาหม้อ	10
	Favites sp.	17 กุมภาพันธ์ 2549	ขึ้น 5 ค่ำ	2050	2125 - 2220	เขาหมาจอ	
	Platygyra sinensis	17-18 กุมภาพันธ์ 2549	ขึ้น 5-6 ค่ำ	2015	2035 - 2130	เขาหมาจอ	
2549/2550	*Acropora florida*	25 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 8 ค่ำ	1900	2020 - 2035	เขาหมาจอ	2
	Acropora humilis	24–28 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 7–11 ค่ำ	1915	2010 – 2100	เขาหมาจอ	16
		24–28 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 7–11 ค่ำ	1915	2010 - 2100	เกาะปลาหมึก	6
		9 มีนาคม 2550	แรม 5 ค่ำ	1930	2005 – 2050	เขาหมาจอ	4
	Acropora hyacinthus	26 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 9 ค่ำ	1920	2030 – 2050	เขาหมาจอ	3
		26 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 9 ค่ำ	1920	2030 – 2050	เกาะปลาหมึก	3
	Acropora millepora	9 กุมภาพันธ์ 2550	แรม 7 ค่ำ	1830	2035 – 2130	เกาะเตาหม้อ	11
		25 กุมภาพันธ์ 2550	ขึ้น 8 ค่ำ	1830	2035 – 2135	เขาหมาจอ	2
	Acropora nasuta	9–10 กุมภาพันธ์ 2550	แรม 7–8 ค่ำ	1830	2050 – 2150	เกาะเตาหม้อ	30
	Acropora samoensis	9 มีนาคม 2550	แรม 5 ค่ำ	1930	2005 - 2050	เขาหมาจอ	4

ภาคผนวก ก ต่อ

รอบปี	ชนิดปะการัง	วันที่ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	ข้างขึ้น/แรม	เวลาที่ปะการังพร้อมปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	ช่วงเวลาปล่อยเซลล์สืบพันธุ์	พื้นที่ศึกษา	จำนวนโคโลนีที่ติดตาม
2549/2550	*Favites abdita*	10 กุมภาพันธ์ 2550	แรม 8 ค่ำ			เขาหมาจอ	
ต่อ	*Favites* sp.	9 มีนาคม 2550	แรม 9 ค่ำ			เขาหมาจอ	
	Platygyra sinensis	10 กุมภาพันธ์ 2550	แรม 8 ค่ำ			เขาหมาจอ	
		9-10 มีนาคม 2550	แรม 5-6 ค่ำ			เขาหมาจอ	
2550/2551	*Acropora gemmifera*	16 มกราคม 2551	ขึ้น 9 ค่ำ	1940	2030 - 2100	เกาะเตาหม้อ	1
	Acropora humilis	24-28 มกราคม 2551	แรม 2-9 ค่ำ			เขาหมาจอ	
		11-14 กุมภาพันธ์ 2551	ขึ้น 5-8 ค่ำ	1915	2010 - 2045	เขาหมาจอ	
		26-27 กุมภาพันธ์ 2551	แรม 5-6 ค่ำ	1925	1930 - 2120	เขาหมาจอ	
	Acropora hyacinthus	15 มกราคม 2551	ขึ้น 8 ค่ำ	1910	2010 - 2045	เขาหมาจอ	
		24-31 มกราคม 2551	แรม 2-9 ค่ำ			เขาหมาจอ	2
	Acropora millepora	15 มกราคม 2551	ขึ้น 8 ค่ำ	1910	2010 - 2045	เกาะเตาหม้อ	19
		24-31 มกราคม 2551	แรม 2-9 ค่ำ			เขาหมาจอ	2
	Acropora secale	15 มกราคม 2551	ขึ้น 8 ค่ำ			เกาะเตาหม้อ	2
	Platygyra sinensis	27 กุมภาพันธ์ 2551	แรม 6 ค่ำ			เขาหมาจอ	
	Montipora sp.	18-19 กุมภาพันธ์ 2551	ขึ้น 12-13 ค่ำ		1940 - 2020	เขาหมาจอ	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชโลทร รักษาทรัพย์ เกิดวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2547 ระหว่างการศึกษา ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2458 – 2549 และ โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (โครงการBRT) ปี 2458 – 2550

การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการโดยการตีพิมพ์บทความ รวมถึงการนำเสนอทางวาจาและโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการดังรายละเอียดต่อไปนี้

บทความทางวิชาการ

ชโลทร รักษาทรัพย์, วรณพ วิยกาญจน์ และ สุชนา ชวนิชย์. 2550. การเพาะขยายพันธุ์ปะการังและการฟื้นฟูแนวปะการังด้วยการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ - 1: ฤดูกาลปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังแข็งบางชนิดบริเวณหมู่เกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรี. เอกสารการประชุมวิชาการครั้งที่ 3 ชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. "ทรัพยากรไทย : ประโยชน์แท้แก่มหาชน", 31 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2550, พิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. 127–134.

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

Chavanich,.S., Viyakarn, V., **Raksasab, C.**, Kuanui, P., Iwao, K., and Omori, M. 2008. Coral Culture for Restoration and Conservation in Thailand. In the book of Abstracts: The Science Forum 2008, 13–14 March, 2008, Chulalongkorn University, THAILAND. 25-26. *(Oral Presentation)*

Raksasab, C., Viyakarn, V. and Chavanich, S. 2007. Survival and Growth of Juvenile Staghorn Corals *Acropora* spp. in Culture System: 2 – The Development Stages of the Staghorn Coral *Acropora humilis*. In the Book of Abstracts: Research and Thesis 2007, the 11th BRT Annual Conference, 15–18 October 2007, Napalai Hotel, Udonthani, THAILAND. 223. *(Poster Presentation)*

Raksasab, C., Viyakarn, V. and Chavanich, S. 2006. Survival and Growth of Juvenile Staghorn Corals *Acropora* spp. in Culture System: 1 – Monitoring of Gamete Development and its Spawning Period. In the Book of Abstracts, 10h BRT Annual Conference, 7–11 October 2006, Marine Park and Spa Resort, Krabi, THAILAND. 122. *(Poster Presentation)*