รายงานผลการดำเนินงาน
ปีงบประมาณ 2558

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
สนองพระราชดำริโดย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง

การฟื้นฟูแนวปะการังในธรรมชาติโดยใช้ตัวอ่อนปะการัง
ที่ได้จากการเพาะขยายพันธุ์ในระบบเพาะฟัก-4: วิธีการที่เหมาะสม
ในการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะ
เพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติ

ผู้รับผิดชอบโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์

รายงานวิจัย

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินปี 2558

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
สนองพระราชดำริโดย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง

การฟื้นฟูแนวปะการังในธรรมชาติโดยใช้ตัวอ่อนปะการังที่ได้จากการเพาะขยายพันธุ์ในระบบเพาะฟัก – 4: วิธีการที่เหมาะสมในการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะเพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติ

Coral restoration by laboratory seeding – 4: Suitable method for transferring coral spats after settle to natural site

รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์
รองศาสตราจารย์ ดร. สุชนา ชวนิชย์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตุลาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558 คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และ หน่วยบัญชาการสงครามพิเศษทางเรือ กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยในพื้นที่ ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนิสิตกลุ่มการวิจัยชีววิทยาปะการัง รวมถึง ผู้สนับสนุนงานทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานทั้งหมดเป็นอย่างดีตลอดมา

บทคัดย่อ

ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมของการอนุบาลตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora millepora* ระยะหลังการลงเกาะเพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติ โดยประเมินจากอัตรารอดและการเติบโตของปะการังภายหลังการลงเกาะบนพื้นผิวเมื่อนำไปอนุบาลในทะเลเป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่า อัตรารอดของปะการังมีค่าสูงสุดเมื่อปะการังอยู่บนแผ่นกระเบื้องดินเผาและยึดติดกับโครงสร้างซีเมนต์ในทะเล (91%) ขณะที่ปะการังบนฝาครอบท่อพีวีซี บนก้อนหินธรรมชาติ หรือที่ยึดโดยเชือกแขวนกับกระชังกลางน้ำมีอัตราการรอดต่ำกว่าที่ระดับ 49 – 71% ตามลำดับ ในส่วนการเติบโตนั้น ไม่พบความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญระหว่างชุดการทดลอง และการเติบโตของปะการังแต่ละชุดการทดลองอยู่ระหว่าง 1.6-3.0 เซนติเมตร ต่อ 6 เดือน ดังนั้น วิธีการที่เหมาะสมของการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะเพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติคือ การอนุบาลโดยให้ตัวอ่อนยึดติดกับแผ่นกระเบื้องดินเผา ก่อนที่จะนำไปอนุบาลในทะเลโดยให้แผ่นกระเบื้องยึดติดกับกองหินธรรมชาติในทะเล

คำสำคัญ: ปะการังเขากวาง การเพาะขยายพันธุ์ปะการัง การนำปะการังกลับสู่ทะเล การฟื้นฟูปะการัง การเติบโต อัตรารอด

Abstract

Different methods of husbandry and transferring of coral spats, *Acropora millepora* after settlement stage were investigated for 6 month period. The results showed that the survival rates of juvenile corals, which were attached on tiles and then transferred to cement structures in the natural site were higher (91%) than that of on PVC caps or attached on the floating cages (49-71%). However, for the growth rates, there was no significant difference between different methods. The growth rates of all methods ranged between 1.6-3.0 cm per 6 months. Thus, the suitable method for transferring coral spats after settlement stage was when corals were attached on the tiles and transferred to cement structures in the natural site.

Keywords: staghorn coral, coral cultivation, coral transplantation to the sea, coral restoration, growth, survival rate

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อภาษาไทย	Ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	Iii
สารบัญเรื่อง	iv
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	vi
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	4
วิธีดำเนินการวิจัยและแผนการปฏิบัติงาน	4
สถานที่ทำการวิจัยและเก็บข้อมูล	5
ผลการดำเนินงาน	6
สรุปและวิจารณ์ผล	7
เอกสารอ้างอิง	8

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. รายละเอียดการดำเนินงานในช่วง 12 เดือน (ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558) . 5

ตารางที่ 2. ผลการเติบโตและอัตราการรอดเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปะการังในแต่ละชุดการทดลอง 7

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. ตัวอ่อนปะการังบนวัสดุที่ใช้เป็นฐานที่นำไปยึดติดบนโครงสร้างซีเมนต์ ณ หาดหน้าบ้าน เกาะจาน 6

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สนองพระราชดำริโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การฟื้นฟูแนวปะการังในธรรมชาติโดยใช้ตัวอ่อนปะการังที่ได้จากการเพาะขยายพันธุ์ในระบบเพาะฟัก – 4: วิธีการที่เหมาะสมในการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะเพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติ

Plant Genetic Conservation Project under the Royal Initiative of
Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn – Chulalongkorn University
Coral restoration by laboratory seeding – 4:
Suitable method for transferring coral spats after settle to natural site

วรณพ วิยกาญจน์ และ สุชนา ชวนิชย์
Voranop Viyakarn and Suchana Chavanich

กลุ่มการวิจัยชีววิทยาแนวปะการัง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

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

1. บทนำ

ระบบนิเวศปะการังเป็นระบบนิเวศทางทะเลที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลอย่างยิ่ง ปะการังสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่อาศัยเพศและแบบอาศัยเพศ โดยที่ปะการังหนึ่งโคโลนีสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งสองรูปแบบในเวลาเดียวกัน การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของปะการังส่วนใหญ่อาศัยการแตกหน่อ (budding) เพื่อขยายขนาด อันเป็นการสร้างบทบาทต่อการครอบครองพื้นที่เพื่อแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่น รวมถึง ปะการังต่างชนิด หรือแม้กระทั่งชนิดเดียวกัน ขณะที่การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเกิดจากการแลกเปลี่ยนลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งส่งผลต่อการดำรงอยู่ของโครงสร้างประชาคมปะการัง

1.1 การสืบพันธุ์และการเติบโต

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของปะการังส่วนใหญ่ เช่น กลุ่มปะการังเขากวาง (Acroporidae) เป็นปะการังที่มีการปฏิสนธิภายนอก โดยทำการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ ได้แก่ ไข่ (egg) และสเปิร์ม (sperm) ออกมาสู่มวลน้ำ (Babcock and Heyward 1986) ซึ่งมีพัฒนาการเป็นตัวอ่อนปะการัง (planula larva) ภายหลังการปฏิสนธิ (Carlon 2002) ตัวอ่อนปะการังเหล่านี้ใช้เวลาพัฒนาการตัวเองในมวลน้ำระยะหนึ่งก่อนทำการลงเกาะบนพื้นผิว (substrate) เพื่อเติบโตเป็นปะการังที่สมบูรณ์ต่อไป ทั้งนี้ ในกรณีตัวอ่อนปะการังเขากวาง จะรับสาหร่ายซูแซนเทลลี (zooxanthellae) จากมวลน้ำเข้ามาร่วมอาศัย ภายในเวลา 1 เดือนหลังการลงเกาะ (ชโลทร รักษาทรัพย์ และคณะ 2550)

ช่วงเวลาปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกสู่มวลน้ำของปะการังนั้นแตกต่างกันตามชนิดปะการังและพื้นที่ (Fukami et al 2003) ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น การขึ้นลงของกระแสน้ำ อุณหภูมิของน้ำ เป็นต้น การปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ขณะที่กระแสน้ำมีการเคลื่อนไหวต่ำหรือค่อนข้างนิ่ง เป็นการเพิ่มโอกาสให้ไข่ได้รับการผสมกับสเปิร์มในมวลน้ำมากขึ้น (Fautin 2002) เมื่อไข่ได้รับการปฏิสนธิ กระแสน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการนำพาปะการังกระจาย (distribution) ไปยังถิ่นอาศัยใหม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการทดแทนจำนวนประชากร (recruitment) และการแพร่กระจาย (dispersion) ของตัวอ่อนปะการัง โดยพัฒนาการ (development) ของตัวอ่อนปะการังระยะนี้ เป็นตัวกำหนดระยะทางในการแพร่กระจาย และเป็นตัวกำหนดอัตราการทดแทนจำนวนประชากร เนื่องจากมีโอกาสสูงในการถูกล่า (Keough and Downes 1982; Babcock and Mundy 1996) นอกจากนั้น ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมอื่น เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม การปนเปื้อนของมลพิษ (เช่น คราบน้ำมัน) รวมถึง ปริมาณตะกอนและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดที่มีค่าสูง (เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) เป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตรารอดของตัวอ่อนปะการังระยะนี้เช่นกัน (Kushmaro et al 1997; Negri and Hayward 2000; Ward and Harrison 2000; Edmunds et al 2001)

การลงเกาะของตัวอ่อนปะการังขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น ความรุนแรงของกระแสน้ำ ชนิดและความซับซ้อนของพื้นผิวที่ลงเกาะ ปริมาณแสง ปริมาณตะกอน เป็นต้น (Thongtham and Chansang 1999) พบอัตราการตายหลังการลงเกาะสูงสุดเมื่อมีปริมาณตะกอนและ/หรือสารแขวนลอยบริเวณผิวน้ำสูง (Babcock and Mundy 1996) นอกจากนั้น ประสิทธิภาพของการลงเกาะและพัฒนาการของตัวอ่อนปะการังมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อได้รับการกระตุ้นจากสารเหนี่ยวนำธรรมชาติ เช่น สารเคมีจาก coralline algae (Morse et al 1996; Heyward and Negri 1999) เป็นต้น

1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติบโตของปะการัง

การที่ปะการังโดยทั่วไปที่มีโครงสร้างหินปูนเป็นโครงร่างแข็ง (hermatypic scleractinian corals) มีสาหร่ายซูแซนเทลลี่ กลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต (dinoflagellate) สกุล *Symbiodinium* อาศัยร่วมในลักษณะความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันภายในเนื้อเยื่อของโพลิปปะการัง ทำให้ปะการังเหล่านี้ต้องอาศัยอยู่บริเวณระดับความลึกที่มีแสงเหมาะสม เนื่องจากแสงมีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายดังกล่าว ทั้งนี้ พลังงานที่ปะการังได้รับโดยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายซูแซนเทลลีในรูปแบบการดึงธาตุอาหารจากภายนอกและส่งผลผลิตมาสู่ปะการังโดยตรง (Szmant-Froelich and Pilson 1984) โดยพลังงานที่ปะการังได้รับผ่านกระบวนการดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการหายใจและการเติบโตประมาณ ร้อยละ 10 – 20 ขณะที่ส่วนที่เหลือถูกส่งไปยังเนื้อเยื่อปะการัง (Davies 1984; Edmunds and Davies 1986) ขณะที่พลังงานอีกส่วนหนึ่งที่ปะการังได้รับมาจากการกินอาหาร ปะการังหาอาหารจากการใช้หนวด (tentacle) จับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ ที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ (Wellington 1982; Sebens et al 1996; Ferrier-Pages et al 2003; Palardy et al 2005) จากนั้นจึงนำเข้าสู่กระเพาะอาหารผ่านปากของโพลิป เพื่อทำการย่อยและใช้ประโยชน์ต่อไป จากการศึกษาพบชนิดของสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารในกระเพาะอาหารของปะการังมีความหลากหลาย (Sebens et al 1996; Houlbreque et al 2004) รวมถึง กลุ่มแบคทีเรีย สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ และสารแขวนลอยต่างๆ (Sorokin 1973; Bak et al 1998; Anthony 1999)

อย่างไรก็ตาม ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการเติบโตและอัตรารอดของปะการังโดยทั่วไป ประกอบด้วย แสง อุณหภูมิ ความเค็ม ความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลี่ รวมถึง อาหาร เป็นต้น ปะการังที่ได้รับอาหารและแสงมีอัตราการเติบโตดีกว่าปะการังที่ได้รับแสงเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้น ปะการังที่ได้รับอาหารมีปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ *เอ* และความ

หนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลี่ในเนื้อเยื่อมากกว่าปะการังที่ไม่ได้รับอาหาร (Muller-Parker et al 1994; Grover et al 2002; Houlbreque et al 2003) อีกทั้งปะการังที่ได้รับอาหารมีอัตราการหายใจและมีปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น สาหร่ายซูแซนเทลลี่สามารถดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจและดึงไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียจากปะการังมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้น (Grottoli 2002) ปะการังจึงได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น และมีอัตราการสร้างโครงร่างหินปูนสูงขึ้น (Marubini *et al* 2001) การที่น้ำทะเลมีระดับความเค็มลดลงจากระดับปกติสามารถส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เนื่องจากเกิดการหดตัวของโพลิปปะการังที่อาจส่งผลให้สาหร่ายซูแซนเทลลี่มีโอกาสได้รับแสงน้อยลดลง และส่งผลต่อพลังงานที่ปะการังได้รับ อย่างไรก็ตาม ปะการังบางชนิดสามารถชดเชยพลังงานที่ขาดไปได้ด้วยการกินอาหาร (Moberg et al 1997)

1.3 การฟื้นฟูแนวปะการัง

การฟื้นฟูแนวปะการัง (coral restoration) เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในการฟื้นฟูระบบนิเวศปะการังที่อยู่ในภาวะเสื่อมสภาพลงเนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ นอกเหนือจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆ ที่ส่งผลโดยตรงและโดยอ้อมต่อระบบนิเวศปะการัง เทคนิคและวิธีการที่นำมาใช้ในการฟื้นฟูปะการังมีหลากหลาย อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาจำแนกตามคุณสมบัติของการสืบพันธุ์ปะการัง สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธีหลัก ได้แก่ การฟื้นฟูแนวปะการังที่อาศัยคุณสมบัติของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และใช้คุณสมบัติของการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ตัวอย่างวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการฟื้นฟูแนวปะการังแบบไม่อาศัยเพศ ได้แก่ การย้ายปลูกปะการัง (coral transplantation) ที่นำชิ้นส่วนของปะการัง (coral fragment) มายึดติดกับวัสดุต่างๆ ที่มีพื้นผิวแข็ง เช่น อิฐบล๊อค ฐานซีเมนต์ ท่อพีวีซี หรือเหล็กเส้น ที่ใช้เป็นฐานของปะการัง แล้วนำไปปลูกหรือฟื้นฟูในพื้นที่ที่ต้องการ โดยการวางบนพื้นท้องทะเล หรือยึดติดกับก้อนหิน ซากปะการัง อื่นๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถดำเนินการได้โดยง่าย สะดวก และรวดเร็ว

สำหรับการฟื้นฟูแนวปะการังโดยอาศัยการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศนั้น เป็นการนำเซลล์สืบพันธุ์หรือตัวอ่อนแรกเกิดของปะการังขณะถูกปล่อยออกสู่มวลน้ำตามธรรมชาติ มาทำการเพาะฟักโดยการปฏิสนธิและ/หรืออนุบาลในระบบเลี้ยงเพื่อให้ได้ตัวอ่อนปะการังโดยตรง หลังจากนั้นจึงนำไปฟื้นฟูแนวปะการังในพื้นที่ที่ต้องการต่อไป วิธีการนี้ทำให้ได้ตัวอ่อนปะการังที่มีคุณภาพ เนื่องจากเป็นตัวอ่อนที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง พร้อมทั้ง เป็นวิธีการที่สามารถลดอัตราการสูญเสียของตัวอ่อนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติได้ ปัจจุบัน หลายประเทศได้ใช้วิธีดังกล่าวเพื่อให้ได้ลูกพันธุ์ปะการังที่มีความบริสุทธิ์ และขยายขอบเขตการศึกษาในปะการังระยะแรกเกิดให้มีความละเอียดมากขึ้น รวมถึง วิธีการอนุบาลตัวอ่อน การศึกษาข้อมูลและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อพัฒนาการ การเจริญเติบโต หรือ อัตรารอด เป็นต้น ทั้งนี้ การอนุบาลตัวอ่อนปะการังในระบบเลี้ยงก่อนนำไปย้ายปลูกในแหล่งธรรมชาติสามารถช่วยในการเพิ่มอัตรารอดของปะการังให้สูงขึ้น เช่น ระยะเวลาอนุบาลปะการังในระบบเลี้ยงจนได้ปะการังที่มีขนาดเหมาะสมช่วยเพิ่มอัตรารอดในการย้ายปะการังกลับคืนสู่แหล่งธรรมชาติได้ (Raymundo et al 1999) อนึ่ง การอนุบาลตัวอ่อนปะการังในประเทศญี่ปุ่นได้นำมาใช้ในการศึกษาลักษณะทางชีววิทยา เช่น ศึกษาการลงเกาะของตัวอ่อนปะการัง ศึกษาการเติบโตที่สนองตอบจากปัจจัยต่างๆ เช่น แสง อุณหภูมิ ตะกอน มลพิษ หรือ นำมาใช้ในการศึกษาด้านการฟื้นฟูแนวปะการังด้วย (Harii et al 2001; Hayashibara et al 2004; Omori 2005; Omori et al 2006, 2007, 2008) กรณีของประเทศไทย คณะผู้วิจัยเป็นผู้ริเริ่มนำวิธีดังกล่าวมาใช้เป็นโครงการต้นแบบในการร่วมสนองพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) ร่วมกับ หน่วยบัญชาการสงครามพิเศษทางเรือ (นสร.) กองทัพเรือ ตั้งแต่ปี 2547 เป็นต้นมา (วรณพ วิยกาญจน์ และ สุชนา ชวนิชย์ 2552; วรณพ วิยกาญจน์ และคณะ 2552)

ทั้งนี้ จากสภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว (coral bleaching) ในน่านน้ำไทย ทั้งฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทย ในปี 2553 ต่อเนื่องถึงปี 2554 พบว่า ปะการังตามธรรมชาติในหลายพื้นที่ได้รับผลกระทบในระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน ซึ่งรวมถึง ปะการังที่ถูกนำไปย้ายปลูกหรือฟื้นฟูแนวปะการังธรรมชาติที่อาศัยคุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของปะการังที่ได้รับผลกระทบเป็นอย่างมากในทุกพื้นที่ ขณะที่ปะการังที่อาศัยคุณสมบัติการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศซึ่งนำมาใช้ในการฟื้นฟูส่วนหนึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ดังกล่าว ซึ่งอาจเป็นผลของลูกพันธุ์ปะการังที่นำไปใช้มีความหลากหลายทางพันธุกรรมที่สูง อันเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความความสำเร็จในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อยืนยันความสำเร็จนั้น รวมถึง เป็นการเพิ่มผลผลิตของปะการังให้มากขึ้นเพื่อที่จะสามารถนำปะการังที่ได้คืนกลับสู่ธรรมชาติต่อไป

การศึกษาครั้งนี้ จึงศึกษาวิธีการที่เหมาะสมของการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะเพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติ โดยประเมินจากอัตรารอดและการเติบโตของปะการังที่มีขนาด/อายุที่แตกต่างกันภายหลังการลงเกาะบนพื้นผิวเมื่อนำไปอนุบาลในทะเลเป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 6 เดือน

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมของการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะเพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติ

2.2 ร่วมสนองพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ภายใต้ โครงการ อพ.สธ. เพื่อการเรียนรู้และนำทรัพยากรไปใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน

3. วิธีดำเนินการวิจัยและแผนการปฏิบัติงาน

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

ใช้ตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora millepora* ระยะหลังการลงเกาะบนพื้นผิวที่มีอายุประมาณ 1 ปี หรือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดประมาณ 1 เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นตัวอ่อนที่ได้มาจากการเก็บเซลล์สืบพันธุ์ปะการังจากแนวปะการังธรรมชาติในพื้นที่เกาะแสมสาร และนำมาทำการเพาะฟักในระบบเพาะฟักตามวิธีของชโลทร รักษาทรัพย์ และคณะ 2550 จัดชุดการทดลองที่แตกต่างกัน 2 ชุดการทดลอง เมื่อนำไปอนุบาลในทะเล ดังนี้

3.1.1 ชุดการทดลองที่ 1: ยึดปะการังติดกับโครงสร้างซีเมนต์ในทะเล

โดยที่ 1-1) ปะการังอยู่บนแผ่นกระเบื้องดินเผา

1-2) ปะการังอยู่บนฝาครอบท่อพีวีซี

1-3) ปะการังอยู่บนก้อนหินธรรมชาติ

3.1.2 ชุดการทดลองที่ 2: ยึดปะการังโดยเชือกแขวนอยู่กับกระชังกลางน้ำ

ทั้งนี้ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่อนุบาลต่อในระบบอนุบาลปะการัง ณ เกาะแสมสาร อนึ่ง ทำการศึกษาชุดการทดลองละ 50 ซ้ำ เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยประเมินอัตราการเติบโตและอัตรารอด จนสิ้นสุดการทดลอง อนึ่ง ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการประเมินผลจากอัตรารอด และการเติบโตของปะการังเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

3.2 ตารางการปฏิบัติงานวิจัย

ตารางการปฏิบัติงานวิจัย แสดงในตารางที่ 1 โดยในช่วง 3 เดือนแรก เป็นการเตรียมการทดลอง ณ โรงเพาะขยายพันธ์ปะการังเกาะแสมสาร ประกอบด้วยสัตว์ทดลองที่นำมาคัดเลือกพร้อมปรับสภาพ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง หลังจากนั้น จึงเริ่มการทดลองในเดือนมกราคม 2558 โดยชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ดำเนินการในพื้นที่หาดหน้าบ้าน เกาะจาน ระดับความลึกประมาณ 3 เมตร ในชุดการทดลที่ 1 และระดับความลึกประมาณ 5 เมตร สำหรับชุดการทดลองที่ 2 สำหรับชุดควบคุม ดำเนินการในโรงเพาะขยายพันุ์ปะการังเกาะแสมสาร

ตารางที่ 1. รายละเอียดการดำเนินงานในช่วง 12 เดือน (ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558)

ช่วงเวลา		**การทดลองที่ 1** **กิจกรรม**	**การทดลองที่ 2** **สถานที่**
เดือนที่ 1	ต.ค. 57	เตรียมอุปกรณ์	โรงเพาะขยายพันธุ์เกาะแสมสาร
เดือนที่ 2	พ.ย. 57	คัดเลือก/ปรับสภาพตัวอย่าง	โรงเพาะขยายพันธุ์เกาะแสมสาร
เดือนที่ 3	ธ.ค. 57	คัดเลือก/ปรับสภาพตัวอย่าง	โรงเพาะขยายพันธุ์เกาะแสมสาร
		เตรียมสถานที่ย้ายถิ่น	หาดหน้าบ้าน เกาะจาน
เดือนที่ 4	ม.ค. 58	ชุดการทดลองที่ 1 และ 2	เกาะจาน หาดหน้าบ้าน
	(เริ่มการทดลอง)	ชุดควบคุม	โรงเพาะขยายพันธุ์เกาะแสมสาร
เดือนที่ 5 - 11	ก.พ. – ส.ค. 58	ชุดการทดลองที่ 1 และ 2	เกาะจาน หาดหน้าบ้าน
	(การทดลองเดือนที่ 2 - 8)	ชุดควบคุม	โรงเพาะขยายพันธุ์เกาะแสมสาร
เดือนที่ 12	ก.ย. 58	ชุดการทดลองที่ 1 และ 2	เกาะจาน หาดหน้าบ้าน
	(สิ้นสุดการทดลองเดือนที่ 9)	ชุดควบคุม	โรงเพาะขยายพันธุ์เกาะแสมสาร

4. สถานที่ทำการวิจัยและเก็บข้อมูล

4.1 สถานที่เก็บเซลล์สืบพันธุ์: แนวปะการังบนเขื่อนกันคลื่น เกาะเตาหม้อ จังหวัดชลบุรี

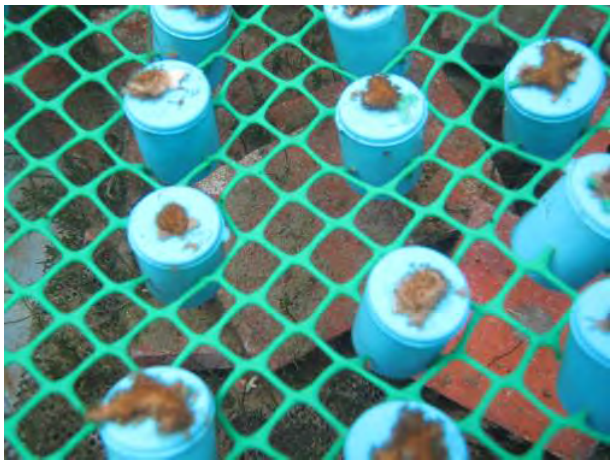
4.2 สถานที่เพาะฟักและอนุบาล: โรงเพาะฟักปะการังเขาหมาจอ ในพื้นที่พิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา เกาะและทะเลไทย จังหวัดชลบุรี

4.3 สถานที่ทำการทดลองในทะเล หาดหน้าบ้าน เกาะจาน จังหวัดชลบุรี

5. ผลการดำเนินงาน

ลักษณะของปะการังที่อยู่บนวัสดุที่ใช้เป็นฐานทั้ง 3 แบบ ของชุดารทดลองที่ 1 แสดงในรูปที่ 1a-c ตามลำดับ และผลการทดลอง (การเติบโตและอัตรารอด) แสดงในตารางที่ 2

1a) ปะการังบนแผ่นกระเบื้องดินเผา



1b) ปะการังบนฝาครอบท่อพีวีซี

1c) ปะการังบนก้อนหินธรรมชาติ

รูปที่ 1. ตัวอ่อนปะการังบนวัสดุที่ใช้เป็นฐานที่นำไปยึดติดบนโครงสร้างซีเมนต์ ณ หาดหน้าบ้าน เกาะจาน

ตารางที่ 2. ผลการเติบโตและอัตราการรอดเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปะการังในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	การเติบโต (เซนติเมตร)	อัตรารอด (%)
ชุดการทดลองที่ 1: ยึดปะการังติดกับโครงสร้างซีเมนต์ในทะเล		
ปะการังอยู่บนแผ่นกระเบื้องดินเผา	3.0±0.51	91±3.2
ปะการังอยู่บนฝาครอบท่อพีวีซี	2.1±0.75	71±5.1
ปะการังอยู่บนก้อนหินธรรมชาติ	2.2±0.84	71±4.8
ชุดการทดลองที่ 2: ยึดปะการังโดยเชือกแขวนอยู่กับกระชัง	2.3±0.79	49±8.5
ชุดควบคุม: ปะการังอยู่บนแผ่นการะเบื้องดินเผาในถังอนุบาล ณ โรงเพาะฟักปะการังเกาะแสมสาร	1.6±0.66	82±4.4

6. สรุปและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมของการอนุบาลตัวอ่อนปะการังระยะหลังการลงเกาะเพื่อการฟื้นฟูปะการังในธรรมชาติพบว่าการเติบโตและอัตรารอดของปะการังมีค่าสูงสุดเมื่อปะการังอยู่บนแผ่นกระเบื้องดินเผาและยึดติดกับโครงสร้างซีเมนต์ในทะเล (91%) ขณะที่ปะการังบนฝาครอบท่อพีวีซี บนก้อนหินธรรมชาติ หรือที่ยึดโดยเชือกแขวนกับกระชังกลางน้ำมีอัตราการรอดต่ำกว่าที่ระดับ 49 – 71% ตามลำดับ ในส่วนการเติบโตนั้น ไม่พบความแตกต่างกันอย่างเป็นนัยสำคัญระหว่างชุดการทดลอง

อนึ่ง ปะการังในชุดควบคุม ถึงแม้ว่ามีอัตรารอดที่สูง (82%) แต่มีการเติบโตที่ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น อาจเนื่องมาจากชุดควบคุมมีข้อจำกัดของระบบอนุบาลบนบก โดยเฉพาะในเรื่องของอาหารธรรมชาติแขวนลอยที่ค่อนข้างต่ำและอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของปะการัง เนื่องมาจากประสิทธิภาพของการนำน้ำทะเลธรรมชาติมาใช้ในการเลี้ยงสามารถดำเนินการได้วันละ 6 – 8 ชั่วโมงเท่านั้น รวมถึง ระบบน้ำดังกล่าวต้องผ่านการกรองกายภาพด้วยหิน ทรายหยาบ ทรายละเอียด และอื่นๆ เพื่อป้องกันศัตรูและเพิ่มคุณภาพน้ำที่สะอาดให้กับปะการัง แต่ส่งผลต่อการจำกัดปริมาณสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารให้แก่ปะการังได้เช่นกัน ปะการังที่อยู่ในระบบอนุบาลจึงได้รับพลังงานจากการสังเคราะห์ด้วยแสงจากสาหร่ายซูแซนเทลลีเป็นหลัก อย่างไรก็ตามเมื่อนำตัวอ่อนปะการังมาอนุบาลในทะเล พบว่าอัตราการเติบโตจะสูงกว่าการอนุบาลในโรงเพาะ เนื่องจากตัวอ่อนปะการังสามารถรับอาหารได้จากมวลน้ำ ปะการังที่ได้รับอาหารจะมีปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ *เอ* และความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีในเนื้อเยื่อมากกว่าปะการังที่ไม่ได้รับอาหาร (Muller-Parker et al 1994; Grover et al 2002; Houlbreque et al 2003) รวมทั้งมีอัตราการสร้างโครงสร้างหินปูนสูงขึ้น (Marubini *et al* 2001) นอกจากนี้ Edmunds and Davies (1986) ยังพบว่า energy budget ของปะการังเมื่ออยู่ในทะเลจะสูงกว่าปะการังที่อยู่ในระบบเลี้ยง

จากการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่แขวนกับกระชังกลางน้ำมีอัตรารอดต่ำกว่า 50% ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการที่มีตะกอนแขวนลอยที่มีปริมาณค่อนข้างมากในมวลน้ำบริเวณหมู่เกาะแสมสาร ประกอบกับการที่มีตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิตอื่นที่มาเกาะติด (fouling organisms) เช่น เพรียงหิน และหอยชนิดต่างๆ ในมวลน้ำค่อนข้างมาก โดยลงเกาะลงบนกระชังกลางน้ำและเติบโตบนตัวอ่อนปะการัง จึงทำให้ตัวอ่อนปะการังที่แขวนกับกระชังมีอัตราการตายที่ค่อนสูง Babcock and Mundy (1996) พบว่า อัตราการตายหลังการลงเกาะจะสูงสุดเมื่อมีปริมาณตะกอนและ/หรือสารแขวนลอยบริเวณผิวน้ำสูง

เนื่องจากปะการังเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการเติบโตช้า ความสามารถในการแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่นจึงค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีผู้แข่งขันและตะกอนที่สูง การอนุบาลตัวอ่อนปะการังทั้งในระบบอนุบาลบนบกและในทะเลจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีลักษณะดังกล่าว เพื่อให้ได้ขนาดปะการังที่ใหญ่เพียงพอในการแข่งขันกับสิ่งมีชีวิตอื่น และปกป้องตัวออกจากการที่ตะกอนแขวนลอยตกลงมาทับถมตัวปะการัง (Harii et al 2001; Hayashibara et al 2004; Omori 2005; Omori et al 2006, 2007, 2008) แต่อย่างไรก็ตาม การอนุบาลปะการังในโรงเพาะนั้น ค่าใช้จ่ายต่อตัวของปะการังจะสูงกว่าการอนุบาลในทะเล เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในเรื่องของแรงงานและระบบเลี้ยง (Omori et al 2006, 2007, 2008)

การศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า ตัวอ่อนปะการังเขากวาง *Acropora millepora* ที่ได้จากการเพาะฟักด้วยการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในพื้นที่หมู่เกาะแสมสาร อำเภอสัตหีบ นั้นควรที่จะอนุบาลโดยให้ตัวอ่อนยึดตึดกับแผ่นกระเบื้องดินเผา ก่อนที่จะนำไปอนุบาลในทะเลโดยให้แผ่นกระเบื้องยึดตึดกับกองหินธรรมชาติในทะเล

7. เอกสารอ้างอิง

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

Anthony KRN. 1999. Coral suspension feeding on fine particulate matter. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 232: 85–106.

Babcock R and Mundy C. 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 RC and Heyward AJ. 1986. Larval development of certain gamete-spawning scleractinian corals. Coral Reefs, 5: 111–116.

Baird AH and Hughes TP. 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.

Bak RPM, Joenje M, Jong ID, Lambrechts DYM and Nieuwland G. 1998. Bacterial suspension feeding by coral reef benthic organisms. Marine Ecology Progress Series, 175: 285–288.

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

Connell JH, Hughes TP, Wallace CC, Tanner JE, Hams KE and Kerr AM. 2004. A long term study of competition and diversity of coral. Ecologial Monographs, 74: 179–210.

Davies PS. 1984. The role of zooxanthellae in the nutritional energy requirements of *Pocillopora eydouxi*. Coral Reefs, 2: 181–186.

Edmunds PJ and Davies PS. 1986. An energy budget for *Porites porites* (Scleratinia). Marine Biology, 92: 339–347.

Edmunds PJ, Gates RD and Gleason DF. 2001. The biology of larvae from the reef coral *Porites astreoides*, and their response to temperature disturbances. Marine Biology, 139: 981–989.

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

Fairfull SJL and Harriott VJ. 1999. Succession, space and coral recruitment in a subtropical fouling community. Marine and Freshwater Research, 50: 235–242.

Fautin DG. 2002. Reproduction of cnidaria. Canadian Journal of Zoology, 80: 1735–1745.

Ferrier-Pages C, Witting J, Tambutte E and Sebens KP. 2003. Effect of natural zooplankton feeding on the tissue and skeletal growth of the Scleractinian coral *Stylophora pistillata*. Coral reefs, 22: 229–240.

Fukami H, Omori M, Shimoike K, Hayashibara T and Hatta M. 2003. Ecological and genetic aspects of reproductive isolation by different spawning time in *Acropora* coral. Marine Biology, 142: 679–684.

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

Grottoli AG. 2002. Effect of light and brine shrimp on skeletal δ^{13}C in the Hawaiian coral *Porites compressa*: a tank experiment. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66: 1955–1967.

Grover R, Maguer JF, Reynaud-Vaganay S and Ferrier-Pages C. 2002. Uptake of ammonium by the scleractinian coral *Stylophora pistillata* – effect of feeding, light, and ammonium concentrations. Limnology and Oceanography, 47: 782–790.

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

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

Heyward AJ and Negri AP. 1999. Natural inducers for coral larval metamorphosis. Coral Reefs, 18: 273–279.

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

Houlbreque F, Tambutte E and Ferrier-Pages C. 2003. Effect of zooplankton availability on the rates of photosynthesis, and tissue and skeletal growth in the scleractinian coral *Stylophora pistillata*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 296: 145–166.

Keough MJ and Downes BJ. 1982. Recruitment of marine invertebrates: the role of active larval choices and early mortality. Oecologia, 54: 348–352.

Kushmaro A, Henning G, Hoffmann DK and Benayahu Y. 1997. Metamorphosis of *Heteroxenia fuscescens* planulae (Cnidaria: Octocorallia) is inhibited by crude oil : A novel short term toxicity bioassay. Marine Environmental Research, 43 (4): 295–302.

Maida M, Sammacro PW and Coll JC. 1995. Effects of soft corals on scleractinian coral recruitment I: Directional allelopathy and inhibition of settlement. Marine Ecology Progress Series, 121: 191–202.

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

Marubini F, Barnett H, Langdon C and Atkinson MJ. 2001. Dependence of calcification on light and carbonate ion concentration for the hermatypic coral *Porites compressa*. Marine Ecology Progress Series, 220: 153–162.

Moberg F, Nystrom M, Kautsky N, Tedengren M and Jarayabhand P. 1997. Effects of reduced salinity on the rates of photosynthesis and respiration in the hermatypic corals *Porites lutea* and *Pocillopora damicornis*. Marine Ecology Progress Series, 157: 53–59.

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

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

Muller-Parker G, McCloskey LR, Hoeegh-Guldberg O and McAuley PJ. 1994. Effect of ammonium enrichment on animal and algal biomass of the coral *Pocillopora damicornis*. Pacific Science, 48: 273–283.

Palardy JE, Grottoli AG and Matthews KA. 2005. Effects of upwelling, depth, morphology and polyp size on feeding in three species of Panamanian corals. Marine Ecology Progress Series, 300: 70–89.

Negri AP and Heyward AJ. 2000. Inhibition of fertilization and larval metamorphosis of the coral *Acropora millepora* (Ehrenberg, 1834) by petroleum products. Marine Pollution Bulletin, 41: 420–427.

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

Omori M, Iwao K and Tamura M. 2008. Growth of transplanted *Acropora tenuis* 2 years after egg culture. Coral Reefs, 27: 165.

Omori M, Kubo H, Kajiwara K, Matsumoto H and Watanuki A. 2006. Rapid recruitment of corals on top shell snail aquaculture structures. Coral Reefs, 25: 280.

Omori M, Kubo H, Kajihara K, Matsumoto H and Watanuki A. 2007. Why corals recruit successfully in top-shell snail aquaculture structures? Galaxia, 8: 83–90.

Raymundo LJH, Maypa AP and Luchavez MM. 1999. Coral seeding as a technology for recovering degraded coral reefs in the Philippines. Phuket Marine Biological Center, Special Publication, 20: 81–92.

Sebens KP, Vandersall KS, Savina LA and Graham KR. 1996. Zooplankton capture by two scleractinian corals, *Madracis mirabilis* and *Montastrea cavernosa*, in a field enclose. Marine Biology, 127: 303–317.

Sorokin YI. 1973. On the feeding of some scleractinian corals with bacteria and dissolved organic matter. Limnology and Oceanography, 18: 380–385.

Szmant-Froelich A and Pilson MEQ. 1984. Effects of feeding frequency and symbiosis with zooxanthellae on nitrogen metabolism and respiration of the coral *Astrangia danae*. Marine Biology, 81: 153–162.

Tanner JE. 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.

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

Ward S and Harrison P. 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.

Wellington GM. 1982. An experimental analysis of the effects of light and zooplankton on coral zonation. Oceanologia, 52: 311–320.