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 อิฐบล็อก 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

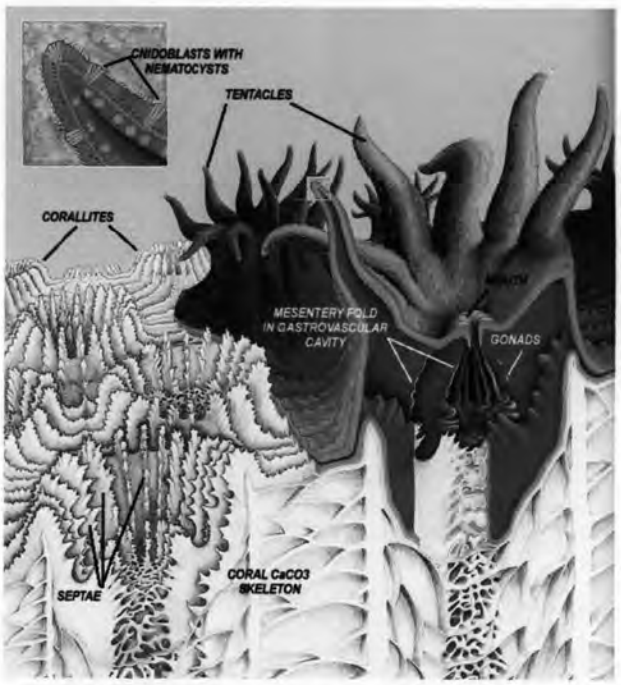
สำหรับการจัดการและการฟื้นฟูแนวปะการังในประเทศมีการดำเนินการในหลายพื้นที่ วิธีการที่นำมาใช้ส่วนมากเน้นการย้ายปลูกปะการังด้วยวิธีการต่างๆ และการสร้างปะการังเทียมดังกล่าวข้างต้น การย้ายปลูกปะการังนั้น ประชาชนทั่วไปสามารถให้เข้ามามีส่วนร่วมในการปฏิบัติได้ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก รวมถึงสามารถเห็นผลการดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว ส่วนการสร้างปะการังเทียมถึงมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง แต่มีผลพลอยได้อื่น เช่น เป็นที่ที่ลงเกาะหรือเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่นนอกจากปะการัง รวมทั้งเป็นแนวป้องกันชายฝั่งจากการบุกรุกของการทำประมงได้ ขณะที่การฟื้นฟูแนวปะการังโดยการนำเซลล์สืบพันธุ์ของปะการังที่ได้จากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมาเพิ่มอัตรารอดในระบบเลี้ยงและนำไปฟื้นฟูในพื้นที่ต้องการนั้นยังไม่มีการศึกษาในประเทศ

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 **ปัจจัยอื่นๆ**

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 จะมองเห็นฝักของเซลล์สืบพันธุ์ปะการังที่อยู่บริเวณปากของโพลิบได้ด้วยตาเปล่า 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)

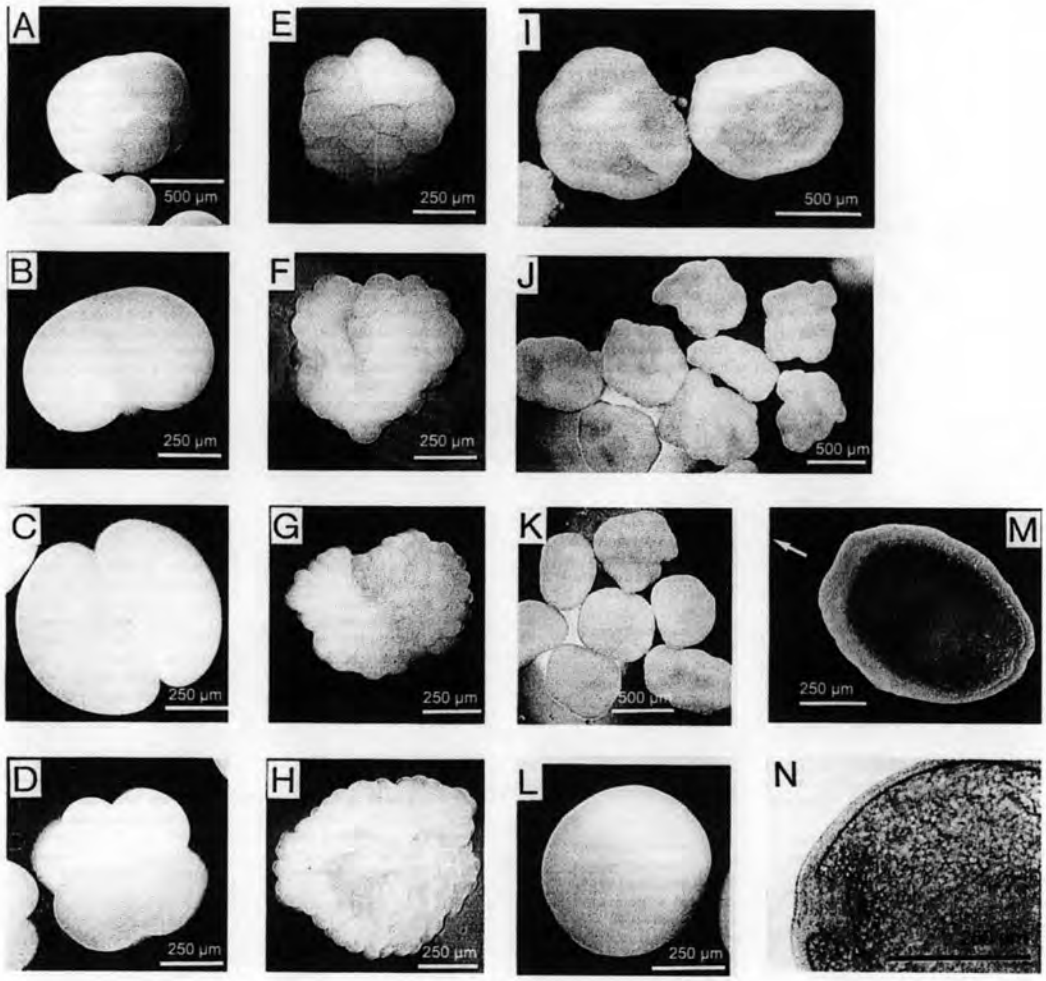
1.2.5 พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง

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

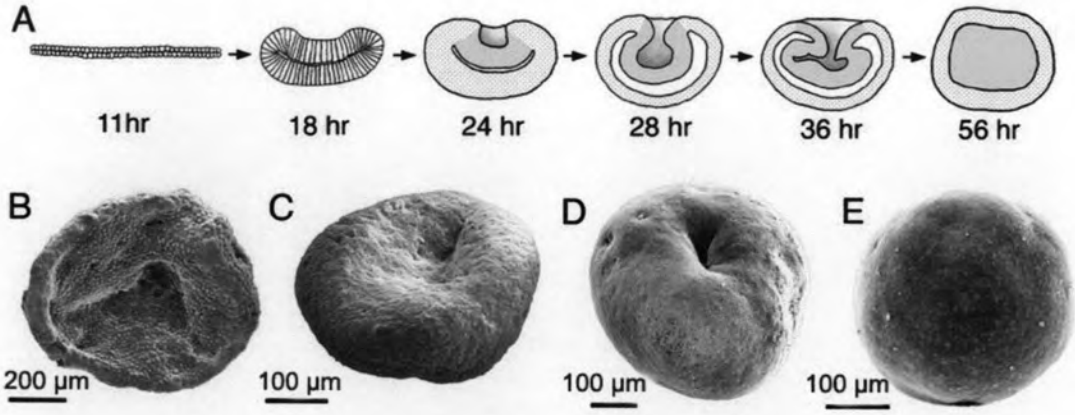
จากรูปที่ 1.2 – 1.3 ฝักของเซลล์สืบพันธุ์ก่อนที่ได้รับการปฏิสนธิ (รูปที่ 1.2 A) มีเนื้อเยื่อบางๆ ห่อหุ้มอยู่ หลังการปฏิสนธิ เซลล์ไข่จึงเข้าสู่ระยะคลีเวจ (first cleavage stage) และมีการแบ่งตัวครั้งแรกออกเป็นสองเซลล์ที่มีขนาดเท่ากัน ระยะนี้สามารถสังเกตเห็นลักษณะของ progressive furrow formation ได้ชัดเจน (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)

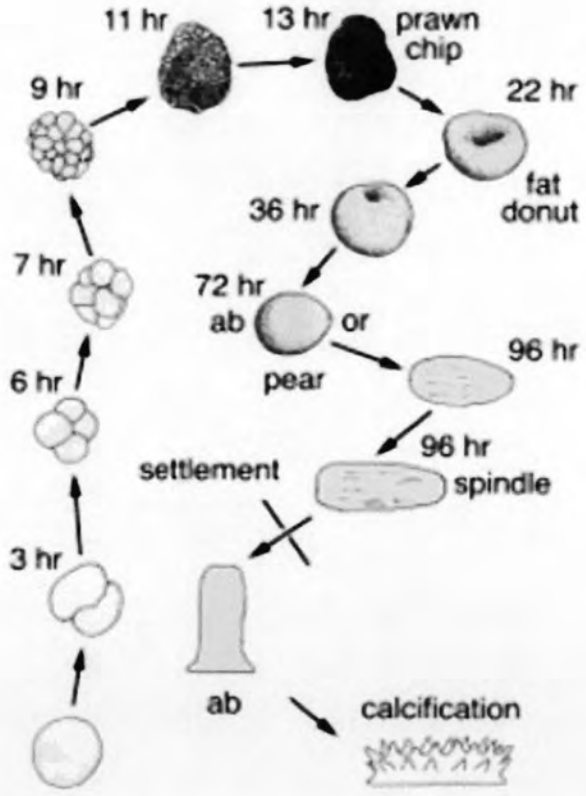


รูปที่ 1.2. พัฒนาการของตัวอ่อนปะการัง *Acropora* spp. ภายหลังการปฏิสนธิถึงตัวอ่อนระยะว่ายน้ำ (ที่มา Hayashibara *et al.*, 1997)

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

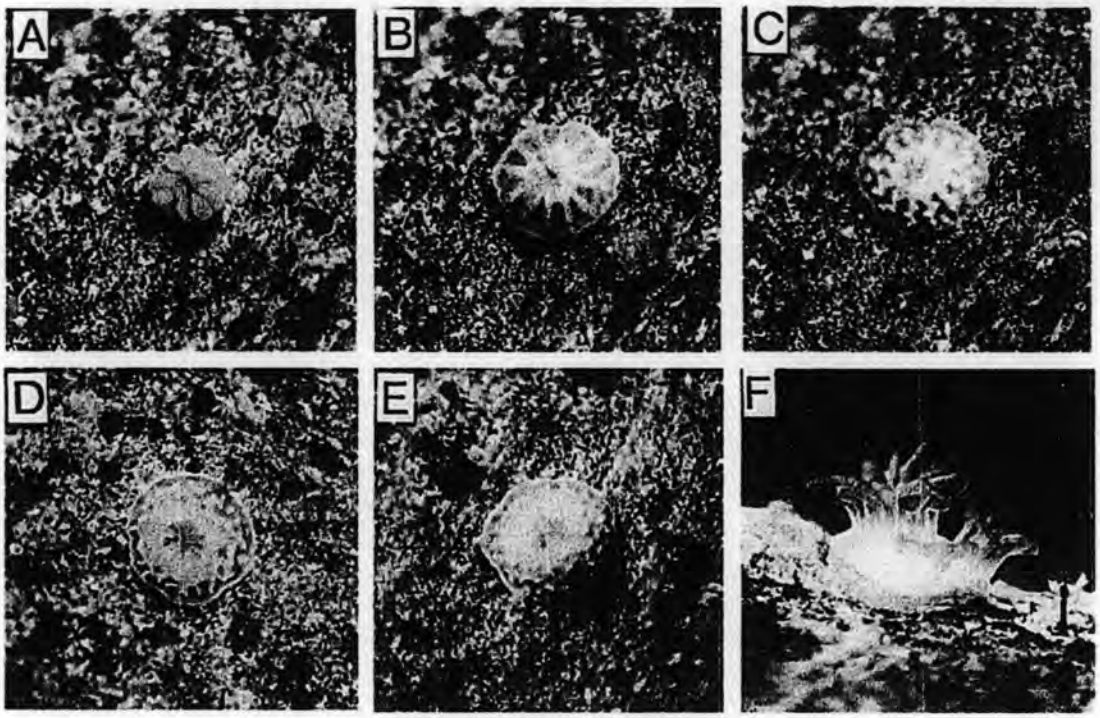
เป็นแพลงก์ตอนล่องลอยในมวลน้ำ ทำให้มีอัตรารอดต่ำแต่มีขอบเขตของการกระจายกว้าง (Pineda, 2000) ทั้งนี้ ระยะเวลาที่ตัวอ่อนปะการังต้องการแตกต่างกันตามชนิดของปะการัง (Zaslow and Benayahu, 1996)

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.

I23870837

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.