



สาหร่ายสีเขียว *Halimeda macroloba* Decaisne ในประเทศไทย Green Alga, *Halimeda macroloba* Decaisne in Thailand

จารุวรรณ มະยະกุล¹

บทคัดย่อ

สาหร่ายใบมะกรูด *Halimeda macroloba* Decaisne เป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีการสะสมหินปูน มีรูปร่างใบแบนคล้ายใบมะกรูด เรียงต่อกันเป็นพุ่ม มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเล คือเป็นผู้ผลิตขั้นต้น เป็นแหล่งหลบภัยและเป็นอาหารให้แก่สัตว์น้ำ และเป็นผู้สร้างแนวปะการังและหาดทราย สาหร่ายชนิดนี้มีการสืบพันธุ์ได้ทั้งการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและแบบอาศัยเพศ มีอัตราการเจริญเติบโตสูง โดยสามารถสร้างส่วนคล้ายใบใหม่ได้ 1-2 ใบใหม่ต่อแทลลัสต่อวัน หรือประมาณ 20.1 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อแทลลัสต่อวัน และมีความหนาแน่นได้สูงประมาณ 24-200 แทลลัสต่อตารางเมตร สาหร่ายชนิดนี้มีการแพร่กระจายได้กว้างและพบได้ทั่วไปทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน สาหร่ายใบมะกรูดมีศักยภาพช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ ซึ่งจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและสะสมหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตไว้ที่บริเวณส่วนคล้ายใบ ในเขตน่านน้ำไทย พบว่าสาหร่ายใบมะกรูดนี้ มีอัตราการสะสมหินปูนประมาณ 16.6 มิลลิกรัมต่อแทลลัสต่อวัน หรือ 82.46% ต่อแทลลัส จึงทำให้สาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถในการกักเก็บสะสมคาร์บอน (carbon sink) จึงเป็นทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้

¹หน่วยวิจัยสาหร่ายและหญ้าทะเล สถานวิจัยความเป็นเลิศความหลากหลายทางชีวภาพแห่งคาบสมุทไทย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

ABSTRACT

Halimeda macroloba Decaisne (Sarai-Bai-Ma-Kud), flat and fan-shaped segments, a calcified green alga, plays a vital role in marine ecosystem as primary producer, provide shelter and food for marine organisms, reef builder, and the production of calcium carbonate sediments. *H. macroloba* can produce asexual and sexual reproduction. It has a high growth rate and can produce new segments around 1-2 segments.thallus⁻¹.day⁻¹ or 20.1 mg dry weight.thallus⁻¹.day⁻¹. Populations of *H. macroloba* range 24-200 thalli m⁻² and the plant is abundant and widely distributed both in the Gulf of Thailand and Andaman Sea. *H. macroloba* can help decreasing dissolved CO₂ by mean of photosynthesis and calcification. In Thai waters, calcium carbonate accumulation rate of *H. macroloba* is 16.6 mg CaCO₃. thallus⁻¹.day⁻¹ or 82.46% per thallus. Thus, *Halimeda* has been recognized as a “carbon sink” species that can decrease CO₂

คำสำคัญ: สาหร่ายใบมะกรูด *Halimeda macroloba* ชีววิทยา แคลเซียมคาร์บอเนต คาร์บอนไดออกไซด์ แหล่งกักเก็บคาร์บอน

Keywords: Sarai-Bai-Ma-Kud *Halimeda macroloba*, Biology, Calcium carbonate, CO₂, Carbon sink

บทนำ

Halimeda macroloba หรือสาหร่ายใบมะกรูด เป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีใบแบน เรียงตัวต่อกัน คล้ายพัดและมีการสะสมหินปูนไว้ที่บริเวณส่วนคล้ายใบ สาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถในการแพร่กระจายกว้าง มีความหนาแน่นและความชุกชุมสูงในเขตทะเลอินโด-แปซิฟิก มหาสมุทรอินเดีย ทะเลแคริบเบียน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเขตน่านน้ำไทย ทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน (Sinutok et al., 2008; Mayakun et al., 2012a, b, c; Lewmanomont and Ogawa, 1995; Lewmanomont et al., 1995) จากการศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของสาหร่ายสกุล *Halimeda* ในประเทศไทย โดย Pongparadon (2010) พบว่ามีสาหร่ายสกุลนี้ 10 ชนิด โดยมีเพียงสอง

ชนิดที่มีการแพร่กระจายได้กว้างและพบได้ทั่วไป คือ *H. macroloba* และ *H. opuntia*

H. macroloba มีประโยชน์และบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเลคือ เป็นผู้ผลิตขั้นต้น (primary producer) ที่สามารถผลิตออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำและสัตว์น้ำ เป็นแหล่งอาหารให้กับสัตว์กินพืชบางชนิด เช่น ปลา เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและหลบภัย แหล่งอนุบาลวัยอ่อน และยังเป็นผู้สร้างแนวปะการังและหาดทราย (Hillis-Colinvaux, 1980; Drew and Abel, 1988; Beach et al., 2003; Vroom and Smith, 2003a; van Tussenbroek and van Dijk, 2007) สาหร่ายชนิดนี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ (indicator) ถึงความเสื่อมโทรมของแนวปะการังได้ (Beach et al., 2003; Vroom et al., 2003) และยังมีศักยภาพในการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้ เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้มีการสะสมหินปูนหรือแคลเซียม

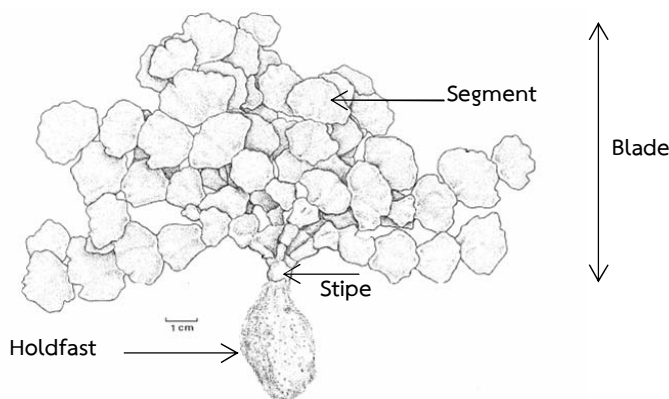
คาร์บอนไดออกไซด์ที่บริเวณส่วนคล้ายใบ ในอัตราที่สูงมาก และเมื่อสาหร่ายตายลง หินปูนที่สะสมอยู่ก็จะสลาย กลายเป็นอนุภาคเม็ดทรายต่อไป จึงทำให้สาหร่ายสกุลนี้มีความสามารถในการกักเก็บสะสมคาร์บอนและศักยภาพในการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้ หรือที่เรียกว่า “Carbon sink” (Sinutok et al., 2008; Mayakun et al., 2012 c) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับสาหร่ายชนิดนี้ยังมีการศึกษาน้อยมากในประเทศไทย มีเพียงแต่การศึกษาเกี่ยวกับอัตราการเจริญเติบโต อัตราการสะสมหินปูนและการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสาหร่ายชนิดนี้ และงานด้านอนุกรมวิธานเท่านั้น แต่การศึกษาด้านนิเวศวิทยา และนิเวศสรีรวิทยา รวมถึงการปรับตัวและการตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง เช่น ภาวะโลกร้อน และการเป็นกรดของมหาสมุทรของสาหร่ายทะเลชนิดนี้ ยังมีความจำเป็นและยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

ดังนั้นบทความนี้ จึงได้รวบรวมผลงานวิจัยทางด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา การสืบพันธุ์ วงชีวิต และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวชนิด *H. macroloba* ไว้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน เกี่ยวกับการศึกษาด้านชีววิทยา นิเวศวิทยา นิเวศสรีรวิทยา การปรับตัวและการตอบสนองของสาหร่ายชนิดนี้ต่อสภาวะ

แวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง รวมถึงความสามารถและศักยภาพในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ได้

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *H. macroloba*

H. macroloba เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว มีหลายนิวเคลียส มีรูปร่างเป็นท่อนติดกันตลอด ไม่มีผนังกัน เรียกว่าแทลลัส (thallus) ประกอบด้วย ส่วนคล้ายลำต้น ใบและราก ซึ่งส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ เนื่องจากสาหร่ายไม่มีโครงสร้างของท่อลำเลียง (vascular bundle) ส่วนคล้ายลำต้น (stipe) ของ *H. macroloba* เป็นส่วนที่ทำให้ลำต้นตั้งตรง ส่วนคล้ายใบ (blade) จะมีลักษณะเป็นแผ่นแบนบาง (segment) คล้ายใบมะกรูด เรียงต่อกันเป็นพุ่ม ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสะสมหินปูน ในรูปผลึกอะราโกไนต์ (aragonite) แต่จะไม่มีการสะสมหินปูนบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นใบ สาหร่ายชนิดนี้ใช้ส่วนคล้ายราก (holdfast) ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยบางๆ ยึดเกาะกับเม็ดทรายเข้าไว้ด้วยกัน จนมีรูปร่างเป็นกระเปาะ (กาญจนภาชน์, 2527; ยุวดี, 2549; Borowitzka and Larkum, 1976; Hillis-Colinvaux, 1980; Bianchi et al., 1999; Coppejans et al., 2010) (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 โครงสร้างของ *H. macroloba* (ดัดแปลงจาก Bianchi et al., 1999)

การสืบพันธุ์ของ *H. macroloba*

สาหร่าย *H. macroloba* มีการสืบพันธุ์ได้ทั้ง การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) และแบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) (Hillis-Colinvaux, 1980)

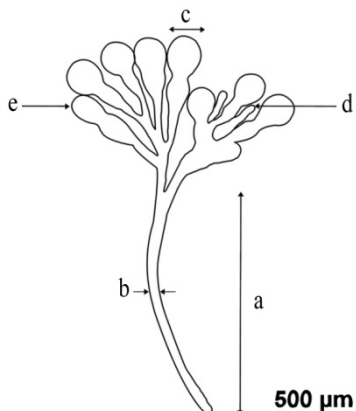
การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ: สาหร่ายจะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยจะสร้างต้นใหม่จากเส้นใยราก (rhizoidal filament) ของต้นเดิม หรือการงอกใหม่ (fragmentation) จากแผ่นใบที่ขาดหลุดจากต้นเดิม ซึ่งอาจจะเกิดจากการกัดกินของปลาหรือจากแรงกระทำของคลื่นลม แผ่นใบ (segment) จะตกบริเวณพื้นทรายและสามารถเจริญเป็นแทลลัสใหม่ได้ (Hillis-Colinvaux, 1980; Drew and Abel, 1988; Walter and Smith, 1994; Walter et al., 2002) ซึ่งการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศนี้มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มจำนวนและความหนาแน่นของสาหร่าย โดยสาหร่ายชนิดนี้สามารถมีความหนาแน่นได้สูงถึง 200 แทลลัสต่อตารางเมตร และมีการแพร่กระจายได้กว้างทั้งฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามัน (Pongparadon, 2010; Mayakun et al., 2012a)

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ: สาหร่ายจะสร้างกลุ่มอวัยวะสืบพันธุ์ (gametangial clusters) ในเวลากลางคืน และจะพัฒนาโตเต็มที่ในคืนที่สอง หลังจากนั้นจะปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ตอนรุ่งเช้า (Clifton and Clifton, 1999) โดยสาหร่ายจะสร้างแกมีโตฟอร์ (gametophores) ที่มีลักษณะเป็นก้าน ปลายก้านมีลักษณะเป็นช่อคล้ายพวงอุ้งนึ่ง ที่ปลายช่อแต่ละอันมีลักษณะเป็นทรงกลม เรียกว่า อับเซลล์สืบพันธุ์ (gametangium) ซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนสืบพันธุ์ ที่มีเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) อยู่ภายใน โดยสาหร่ายชนิดนี้ จะมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียแยกต้นกัน โดยเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้มีขนาดเล็ก สีเขียว และไม่มีอายสปอต (eye spot) ส่วนเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียมี

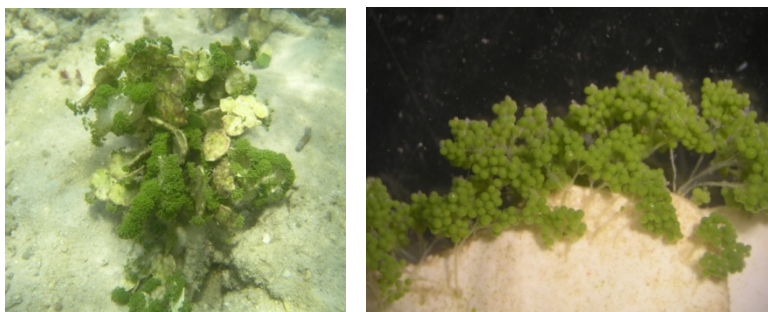
ขนาดใหญ่ มีสีน้ำตาลและมีอายสปอต (Hillis-Colinvaux, 1980; Clifton and Clifton, 1999) เซลล์สืบพันธุ์ถูกปล่อยออกจาก discharge papillae สู่มวลน้ำ และจะมีการรวมกันแบบแอนไอโซแกมี (anisogamy) คือเป็นการรวมตัวกันของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมีย ที่มีรูปร่างเหมือนกันแต่มีขนาดไม่เท่ากัน ได้เป็นไซโกต (zygote) ซึ่งจะลงเกาะและงอกเป็นแทลลัสใหม่ ส่วนแทลลัสต้นเดิมจะตายและสลายกลายเป็นอนุภาคเม็ดทรายต่อไป (Hillis-Colinvaux, 1980; Drew and Abel, 1988; Clifton, 1997; Clifton and Clifton, 1999; Pongparadon, 2010; Mayakun et al., 2012a)

ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างส่วนสืบพันธุ์ (gametangial characteristics) ของสาหร่ายชนิดนี้พบว่ามีความผันแปรในเรื่อง ขนาด รูปร่าง และตำแหน่งการเกิดบนแผ่นใบของอับเซลล์สืบพันธุ์ (gametangium) และแกมีโตฟอร์ (gametophore) (Drew and Abel, 1988; Vroom and Smith, 2003a, b; Mayakun et al., 2012a) แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยมีการศึกษาทางด้านนี้น้อยมาก มีเพียง 1 งานวิจัย ที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของส่วนสืบพันธุ์ รวมถึงปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่กระตุ้นการสร้างส่วนสืบพันธุ์ของสาหร่ายชนิดนี้ โดย Mayakun et al., (2012a) ได้วัดขนาดความกว้างของแกมีโตฟอร์ จำนวนของ discharge papillae และขนาดของอับเซลล์สืบพันธุ์ (รูปที่ 2) พบว่าสาหร่ายชนิดนี้มีการสร้างโครงสร้างของส่วนสืบพันธุ์บริเวณขอบแผ่นใบ (รูปที่ 3) แกมีโตฟอร์มีความยาวประมาณ 2,212-2,276 ไมโครเมตร และความกว้างประมาณ 118-132 ไมโครเมตร มีการแตกแขนงแบบคู้ จำนวน 0-3 ครั้ง มี discharge papillae จำนวน 1-9 อัน (รูปที่ 4) ส่วนอับเซลล์สืบพันธุ์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 157-613 ไมโครเมตร มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันใน

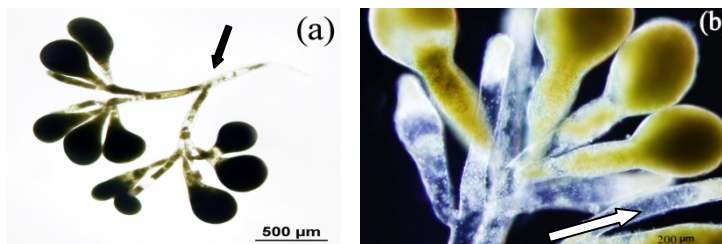
แต่ละแทลลัส โดยจะมีรูปร่างตั้งแต่ รูปร่างทรงกลม หอยตั่วตา ลูกแพร์ (รูปที่ 5) และยังสามารถพบรูปร่างแบบ divided and sessile gametangia ได้ ซึ่งในแต่ละบริเวณจะสามารถพบรูปร่างของอับเซลล์สืบพันธุ์ได้



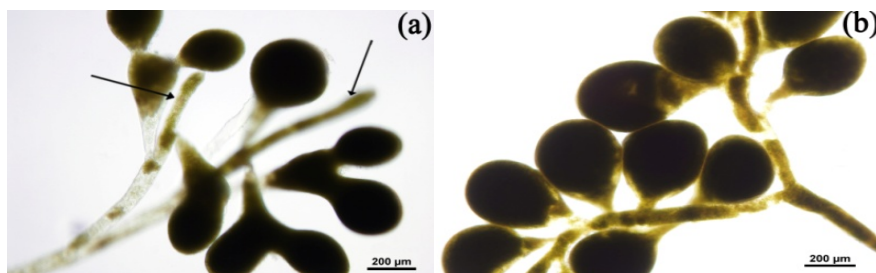
รูปที่ 2 โครงสร้างของส่วนสืบพันธุ์ของ *H. macroloba*; (a) ความยาวของแกมีโตฟอร์ (gametophore), (b) ความกว้างของแกมีโตฟอร์, (c) ความกว้างของอับเซลล์สืบพันธุ์ (gametangium), (d) Discharge papilla และ (e) รูปร่างของอับเซลล์สืบพันธุ์ (จาก Mayakun et al., 2012a)



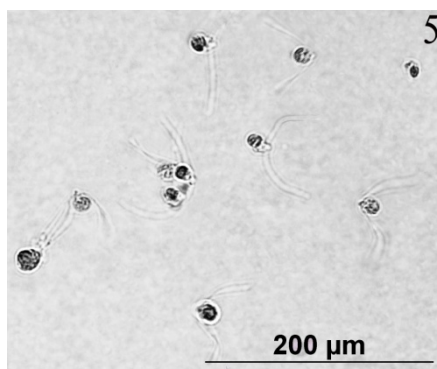
รูปที่ 3 *H. macroloba* สร้างโครงสร้างส่วนสืบพันธุ์บริเวณขอบของแผ่นใบ (จาก Mayakun et al., 2012a)



รูปที่ 4 (a) การแตกแขนงแบบคู่ของแกมีโตฟอร์ (gametophore) (ลูกศรชี้) (b) รูปร่างของอับเซลล์สืบพันธุ์ (gametangium) และ discharge papillae (ลูกศรชี้) (จาก Mayakun et al., 2012a)



รูปที่ 5 รูปร่างของอับเซลล์สืบพันธุ์ (gametangium) ของ *H. macroloba*; (a) รูปร่างแบบ Divided and sessile gametangia (หัวลูกศร) และลูกศรชี้แสดง discharge papillae, (b) รูปร่างแบบทรงกลม (globose) (จาก Mayakun et al., 2012a)



รูปที่ 6 เซลล์สืบพันธุ์เพศเมียที่มีจำนวนแฟลกเจลลา 2 เส้น (จาก Mayakun et al., 2012a)

ในการศึกษาการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสาหร่ายชนิดนี้โดย Mayakun et al., (2012a, b) พบว่าปริมาณสารอาหารและความเค็มที่เพิ่มขึ้นสามารถกระตุ้นการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสาหร่ายได้ โดย *H. macroloba* สามารถสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วภายใน 1-2 สัปดาห์ หลังจากที่มีปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้นและความเค็มสูงถึง 40 psu โดยสารอาหารฟอสฟอรัส เป็นปัจจัยจำกัด

แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สามารถกระตุ้นการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสาหร่ายชนิดนี้ ยังมีการศึกษาอยู่น้อยและมีข้อโต้แย้งถกเถียงกันอยู่ (Drew and Abel, 1988; Clifton, 1997) โดย Abel and Drew (1985) และ van Tussenbroek et al., (2006) เสนอว่า อุณหภูมิของน้ำ จะเป็นตัวกระตุ้นการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่ง

การศึกษาในเรื่องดังกล่าว ยังคงต้องการการศึกษาเพิ่มเติมเพื่ออธิบายปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สามารถกระตุ้นการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของประชากรสาหร่ายในธรรมชาติได้

วงชีวิตของ *H. macroloba*

H. macroloba มีวงชีวิตอยู่ประมาณ 8-12 เดือน โดย Sinutok (2008) ได้แบ่งวงชีวิตออกเป็น 6 ระยะคือ

ระยะที่ 1 คือ ระยะแรกของการลงเกาะ (newly recruited plant)

ระยะที่ 2 คือ ระยะที่แผ่ใบ (segment) ยังไม่มีการสะสมหินปูน (non-calcified plant หรือ young plant)

ระยะที่ 3 คือ ระยะที่มีการสะสมหินปูน (partially-calcified plant)

ระยะที่ 4 คือ ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ มีการสะสมหินปูนทั้งแทลลัส (mature calcified plant)

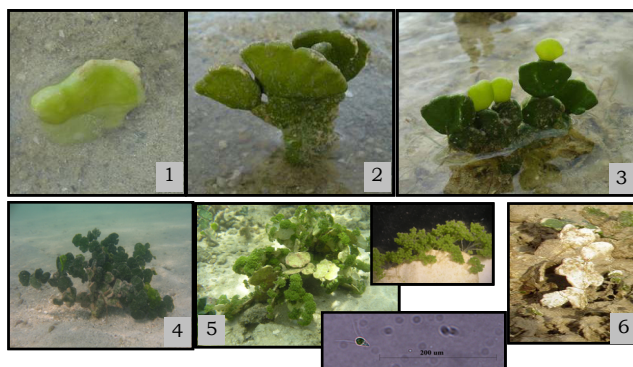
ระยะที่ 5 คือ ระยะสืบพันธุ์ สาหร่ายจะสร้างกลุ่มอวัยวะสืบพันธุ์ (gametangial clusters) ที่มีลักษณะเป็นช่อคล้ายพวงอุ้งบริเวณขอบและผิวของแผ่นใบ (fertile plant)

ระยะที่ 6 คือ ระยะหลังสืบพันธุ์ สาหร่ายจะมีสีขาวและตาย (dead plant) หลังจากปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ (รูปที่ 7)

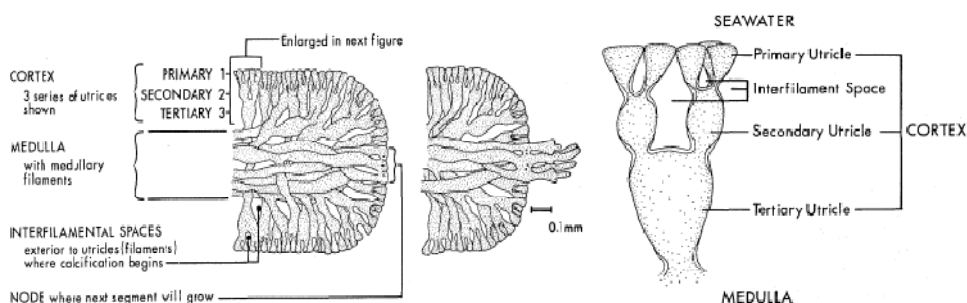
อัตราการเจริญเติบโตของ *H. macroloba*

แผ่นใบใหม่จะพัฒนามาจากเส้นใย medullary filaments ที่อยู่ในชั้น medulla ซึ่งมีขนาดเล็กและบางมาก เพียง 0.1-1 ไมโครเมตร โดยจะ

เริ่มพัฒนาและเจริญเป็น utricle ในชั้น cortex และ medullary filaments ที่อยู่บริเวณส่วนปลายของแผ่นใบเก่า จะเริ่มสร้างและแตกแขนงออกมาเพื่อสร้างแผ่นใบ โดยในช่วงแรกจะเห็นเป็นเส้นใยขาวบาง อยู่บริเวณขอบของแผ่นใบเก่า ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง ในการสร้างแผ่นใบใหม่ (Hillis-Colinvaux, 1980) (รูปที่ 8) แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ มีความผันแปรเชิงเวลาและสถานที่ รวมถึงผลจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของ Sinutok et al. (2008) และ Mayakun et al., (2012a, b และ c) พบว่า *H. macroloba* ในประเทศไทย มีอัตราการเจริญเติบโต ประมาณ 20.1 มิลลิกรัม น้ำหนักแห้งต่อวัน หรือสามารถสร้างแผ่นใบได้ 1-2 แผ่นใบต่อวัน ซึ่งจะแตกต่างกับ สาหร่าย *H. tuna* ที่มีอัตราการเจริญเติบโต ประมาณ 6-25 มิลลิกรัม น้ำหนักแห้งต่อวัน (Vroom et al., 2003)



รูปที่ 7 แสดงวงจรชีวิตของ *H. macroloba* (ดัดแปลงจาก Sinutok, 2008)



รูปที่ 8 การสร้างแผ่นใบใหม่ของสาหร่าย *H. macroloba* โดยสร้างจากเส้นใยในชั้น medulla โดยจะเจริญเป็น utricle ในชั้น cortex (จาก Hillis-Colinvaux, 1980)

นิเวศวิทยาของ *H. macroloba*

สาหร่าย *H. macroloba* มีการแพร่กระจายตลอดแนวชายฝั่งทะเลเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน โดยเฉพาะในน้ำจืดของไทย สาหร่ายชนิดนี้มีการแพร่กระจายและความชุกชุมสูงทั้งสองฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามัน (Pongparadon, 2010) โดยพบความชุกชุมและความหนาแน่นมากในบริเวณน้ำตื้น คลื่นลมสงบ และบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลงของเกาะลิดีและเกาะอาดัง-ราวี ในฝั่งทะเลอันดามัน และ เกาะราบและเกาะมัดสุม ในฝั่งอ่าวไทย โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 24-200 แทลีสต่อตารางเมตร (Pongparadon, 2010; Mayakun, 2010; Mayakun et al., 2012a) ซึ่งสาหร่ายชนิดนี้ มีความสามารถในการแก่งแย่งสูง มีการสืบพันธุ์และอัตราการเจริญเติบโตเร็ว (Vroom and Smith, 2003a; van Tussenbroek and van Dijk, 2007; Sinutok et al., 2008; Mayakun et al., 2012 a, b) จึงทำให้สาหร่ายชนิดนี้มีการแพร่กระจายและความหนาแน่นสูง

H. macroloba สาหร่ายลดโลกร้อน

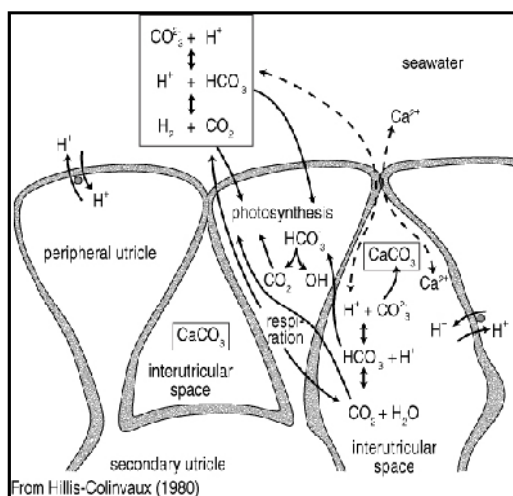
สาหร่ายทะเลใบมะกรูด *H. macroloba* ช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยนำมาใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสะสมหินปูน ซึ่งเป็นตัวกักเก็บคาร์บอนได้เป็นอย่างดี สาหร่ายจะตรึงคาร์บอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ไนโตรเจนคาร์บอนที่ละลายน้ำในรูปแบบคาร์บอเนต มาใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมเป็นหินปูนแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจะอยู่ในรูปผลึก aragonite บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ (interutricular space or interfilament space) ภายในแผ่นใบ (รูปที่ 9) (Borowitzka and Larkum, 1976; Hillis-Colinvaux, 1980; Brownlee and Taylor, 2002; Robbins et al., 2009)

เมื่อสาหร่ายชนิดนี้ตายลง หินปูนที่ถูกสร้างขึ้นและสะสมไว้ จะสลายเป็นเม็ดทรายและคาร์บอนก็

ยังคงถูกเก็บไว้ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต โดยอัตราการสะสมหินปูนของสาหร่ายชนิดนี้ในประเทศไทย คือ 16.6 มิลลิกรัมต่อแทลีสต่อวัน หรือ 82.46 % ต่อแทลีส (Mayakun et al., 2012c) หรือคิดเป็น 109.5 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี (Sinutok et al., 2008) ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับสาหร่ายเห็ดหูหนู (*Padina pavonica*) ที่สะสมได้เพียง 9.3 % ต่อแทลีสเท่านั้น (Okazaki et al., 1986) แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีการศึกษาน้อยมากเกี่ยวกับศักยภาพของสาหร่ายชนิดนี้ในการช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ปริมาณคาร์บอนที่ใช้และสะสมในกระบวนการสะสมหินปูนและที่สะสมไว้ในตัวสาหร่ายและตะกอนทราย รวมถึงปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่ออัตราการสะสมหินปูน ซึ่งในประเทศไทยมีรายงานวิจัยเพียง 4 ฉบับเท่านั้น ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการสะสมหินปูนและอัตราการเจริญเติบโตของ *H. macroloba* บริเวณอ่าวตังเกี๋ย จังหวัดภูเก็ต (Sinutok et al., 2008) และบริเวณเกาะราบ เกาะมัดสุม ฝั่งอ่าวไทย (Mayakun et al., 2012a, b และ c) ได้ศึกษาด้วยวิธี The Alizarin Red-S marking technique (รูปที่ 10) โดยฉีดสารละลายสี Alizarin ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ในถุงพลาสติกที่หุ้มต้นสาหร่ายและภายในบรรจุน้ำทะเล ปริมาตร 500 มิลลิลิตรไว้ ย้อมสีสาหร่ายไว้ 24 ชั่วโมง แล้วเอาถุงพลาสติกออก บริเวณที่มีการสะสมหินปูนจะติดสีแดง ปล่อยให้สาหร่ายที่ย้อมสีไว้ประมาณ 15-20 วัน แล้วเก็บสาหร่ายกลับมาล้างห้องปฏิบัติการ เพื่อฟอกสีด้วย 5-10% สารละลายฟอกขาว ส่วนที่เป็นแผ่นใบเก่าจะติดสีแดง ส่วนแผ่นใบใหม่จะไม่ติดสีแดง จากนั้นนำแผ่นใบใหม่มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°C ชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต ส่วนอัตราการสะสมหินปูน คำนวณได้จากผลต่างของน้ำหนักแห้งของแผ่นใบใหม่ก่อนสลายหินปูนด้วย 5% HCl และ

น้ำหนักแห้งของแผ่นใบใหม่หลังสลายหินปูนแล้ว (Pongparadon, 2008; Sinutok et al., 2008) จากการศึกษาพบว่า สาหร่ายชนิดนี้มีอัตราการสะสมหินปูนประมาณ 41-91% และมีอัตราการเจริญเติบโตประมาณ 16.6 มิลลิกรัมต่อแทลลัสต่อวัน หรือ 82.46 % ต่อแทลลัส หรือสามารถสร้างส่วนคล้ายใบใหม่ได้เร็วประมาณ 1-2 แผ่นใบต่อแทลลัสต่อวัน (Sinutok et al., 2008; Mayakun et al., 2012a และ b) รวมถึง

สาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถในการแพร่กระจายได้เร็ว และสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่อาศัยและแบบอาศัยเพศ จึงทำให้มีความหนาแน่นได้สูงถึง 200 แทลลัสต่อตารางเมตร จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้สาหร่ายใบมะกรูด มีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้นเป็นเท่าตัวและมีศักยภาพในการช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นอย่างดี (Sinutok et al., 2008; Mayakun et al., 2012c)



รูปที่ 9 กระบวนการสะสมหินปูนของ *Halimeda* บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ (intertricular space or interfilament space) ภายในแผ่นใบ (Hillis-Colinvaux, 1980)



รูปที่ 10 วิธีการ The Alizarin Red – S marking technique (ดัดแปลงจาก Pongparadon, 2008)

งานวิจัยเกี่ยวกับสาหร่าย *H. macroloba* ในประเทศไทย

ในปัจจุบันการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสาหร่าย *H. macroloba* ในประเทศไทย ยังอยู่ในวงจำกัดและไม่ครอบคลุม มีการศึกษาเกี่ยวกับงานด้านอนุกรมวิธาน (Pongparadon, 2008) อัตราการเจริญเติบโต อัตรา

การสะสมหินปูน (Pongparadon, 2008; Sinutok et al., 2008; Mayakun et al., 2012a, b และ c) การแพร่กระจาย (Pongparadon, 2010) และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และโครงสร้างส่วนสืบพันธุ์ (Mayakun et al., 2012a) สำหรับการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยา นิเวศสรีรวิทยา รวมถึงการปรับตัวและการตอบสนอง

ต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงของสาหร่ายทะเลชนิดนี้ เริ่มมีการศึกษามากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตอบสนองทางด้านนิเวศสรีรวิทยาของสาหร่ายต่อสภาวะโลกร้อนและการเป็นกรดของมหาสมุทร และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการสะสมหินปูน ซึ่งข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการพัฒนา การเพาะเลี้ยงและการเพิ่มจำนวนสาหร่าย *H. macroloba* เพื่อใช้เป็น Carbon sink ที่สำคัญในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลได้

แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยทางด้านสาหร่ายทะเลของประเทศไทย ยังมีหัวข้องานวิจัยที่น่าสนใจอีกมาก รวมถึงการพัฒนาสายพันธุ์ของสาหร่ายทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยง แต่สิ่งที่ขาดแคลนคือกำลังคนในสาขาความเชี่ยวชาญด้านสาหร่ายวิทยา อนุกรมวิธาน สรีรวิทยา ชีววิทยา และ นิเวศวิทยา ซึ่งจะต้องเร่งพัฒนากำลังคนรวมถึงศักยภาพของงานวิจัยในด้านนี้ให้มากขึ้น เพราะข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ที่สามารถนำไปศึกษาพัฒนาต่อยอดงานวิจัยต่อไปได้ และยังใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอนุรักษ์และการใช้ทรัพยากรสาหร่ายอย่างยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รศ.ดร.อัญญา ประเทพ และ รศ.ลัดดา เอกสมทราเมษฐ์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำในการจัดทำบทความครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กาญจนาภรณ์ ลิ้มโนมนต์. (2527). สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 343 หน้า

- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2549). สาหร่ายวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 546 หน้า
- Abel, K.M. and Drew, E.A. (1985). Response of *Halimeda* metabolism to various environmental parameters. Proceedings of the 5th International Coral Reef Symposium 5: 21-26.
- Beach, K., Walters, L., Vroom, P., Smith, C., Coyer, J. and Hunter, C. (2003). Variability in the ecophysiology of *Halimeda* spp. on Conch Reef, Florida Keys. Journal of Phycology 39: 1-12.
- Bianchi, G., Carpenter, K.E., Roux, J.P., Molloy, F.J., Boyer, D. and Boyer, H.J. (1999). FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes: The Living Marine Resources of Namibia. FAO: Rome.
- Borowitzka, M.A. and Larkum, A.W.D. (1976). Calcification in the green alga *Halimeda*. I. An ultrastructure study of the thallus development. Journal of Phycology 13: 6-16.
- Brownlee, C. and Taylor, A.R. (2002). Algal Calcification and Silification in Encyclopedia of Life Sciences, <http://www.els.net>, London: Nature Publishing Group.
- Clifton, K.E. (1997). Mass spawning by green algae on coral reefs. Science 275: 1116-1118.
- Clifton, K.E. and Clifton, L.M. (1999). The phenology of sexual reproduction by green algae (Bryopsidales) on Caribbean coral reefs. Journal of Phycology 35: 24-34.
- Coppejans, E., Prathep, A., Leliaert, F., Lewmanomont, K. and De Clerck, O. (2010). Seaweeds of Mu Ko Tha Lae Tai (SE Thailand): Methodologies and field guide to the dominant species. Biodiversity Research and Training program (BRT), Bangkok., pp. 274.

- Drew, E.A. and Abel, K.M. (1988). Studies on *Halimeda* II. Reproduction, particularly the seasonality of gametangia formation, in a number of species from the Great Barrier Reef Province. *Coral Reefs* 6: 207-218.
- Hillis-Colinvaux, L. (1980). Ecology and taxonomy of *Halimeda*: primary producer of coral reefs. *Advances in Marine Biology* 17: 1-327.
- Lapointe, B.E., Littler, M.M. and Littler, D.S. (1987). A comparison of nutrient-limited productivity in macroalgae from a Caribbean barrier reef and from a mangrove ecosystem. *Aquatic Botany* 28: 243-255.
- Lewmanomont, K. and Ogawa, H. (1995). Common Seaweeds and Seagrasses of Thailand. Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok. 154 pp.
- Lewmanomont, K., Wongrat, L. and Supanwanit, C. (1995). Algae in Thailand. Office of Environmental Policy and Planning, Bangkok, Thailand.
- Maykun, J. (2010). Algal Response to Herbivore Exclusion and Nutrient Enrichment; Insights into Growth, Reproduction, and Chemical Defense. PhD. thesis in Biology. Prince of Songkla University, HatYai, Thailand. 137 pp.
- Maykun, J., Kim, J. H., Lapointe, B. E. and Prathep, A. (2012a). Gametangial characteristics in the sexual reproduction of *Halimeda macroloba* Decaisne (Chlorophyta: Halimedaceae). *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 34: 211-216.
- Maykun, J., Kim, J. H., Lapointe, B. E. and Prathep, A. (2012b). The effects of herbivore exclusion and nutrient enrichment on growth and reproduction of *Halimeda macroloba* Decaisne (Chlorophyta: Halimedaceae). *Science Asia* 38: 227-234.
- Maykun, J., Bunruk, P. and Kongsang, R. (2012c). Growth rate and calcium carbonate accumulation of *Halimeda macroloba* Decaisne (Chlorophyta: Halimedaceae) in Thai waters. Project in Biology. Prince of Songkla University, Hat Yai, Thailand.
- Okazaki, M., Pentecost, A., Tanaka, Y. and Miyata, M. (1986). A study of calcium carbonate deposition in Genus *Padina*. *European journal of Phycology* 21: 217-224.
- Pongparadon, S. (2008). Distribution, density, growth rate, and accumulate CaCO_3 rate of *Halimeda macroloba* Decne at Tang Khen Bay, Phuket, Thailand. Senior Project in Biology. Prince of Songkla University, Hat Yai, Thailand.
- Pongparadon, S. (2010). Diversity, Distribution and Variations within Species of Genus *Halimeda* J.V.Lamour. (Chlorophyta) in Peninsular Thailand. M.Sc. thesis in Ecology (International). Prince of Songkla University, HatYai, Thailand. 117 pp.
- Robbins, L.L., Knorr, P.O. and Hallock, P. (2009). Response of *Halimeda* to ocean acidification: field and laboratory evidence. *Biogeosciences Discuss* 6: 4895-4918.
- Sinutok, S. (2008). Seasonal variation in distribution, density, and life stage of *Halimeda macroloba* Decaisne at Tankhen Bay, Phuket Province, Thailand. M. Sc. Thesis, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand.
- Sinutok, S., Pongparadon, S. and Prathep, A. (2008). Seasonal variation in density, growth rate and calcium carbonate accumulation of *Halimeda macroloba* Decaisne at Tangkhen Bay, Phuket Province, Thailand. *Malaysian Journal of Science* 27: 1-8.

- van Tussenbroek, B.I., Barba Santos, M.G. and van Dijk, J.K. (2006). Unusual synchronous spawning by green algae (Bryopsidales), after the passage of Hurricane Wilma (2005). *Botanica Marina* 49: 270-271.
- van Tussenbroek, B.I. and van Dijk, J.K. (2007). Spatial and temporal variability in biomass and reproduction of psammophytic *Halimeda incrassate* (Bryopsidales, Chlorophyta) in a Caribbean reef lagoon. *Journal of Phycology* 43: 69-77.
- Vroom, P.S. and Smith, C.M. (2003a). Life without cells. *Biologist* 50: 222-226.
- Vroom, P.S. and Smith, C.M. (2003b). Reproductive features of Hawaiian *Halimeda velasquezii* (Bryopsidales, Chlorophyta), and an evolutionary assessment of reproductive characters in *Halimeda*. *Cryptogamie Algologie* 24: 355-370.
- Vroom, P.S., Smith, C.M., Coyer, J.A., Walters, L.J., Hunter, C.L., Beach, K.S. and Smith, J.E. (2003). Field biology of *Halimeda tuna* (Bryopsidales, Chlorophyta) across a depth gradient: comparative growth, survivorship, recruitment, and reproduction. *Hydrobiologia* 501: 149-166.
- Walter, L.J. and Smith, C.M. (1994). Rapid rhizoid production in *Halimeda discoidea* Decaisne (Chlorophyta, Caulerpales) fragments: a mechanism for survival after separation from adult thalli. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 175: 105-120.
- Walters, L.J., Smith, C.M., Coyer, J.A., Hunter, C.L., Beach, K.S. and Vroom, P.S. (2002). Asexual propagation in the coral reef macroalga *Halimeda* (Chlorophyta, Bryopsidales): production, dispersal and attachment of small fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 278: 47-65.

