

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมแสงของรากอากาศไม้ป่าชายเลน

RADIATION ENVIRONMENT OF MANGROVE PNEUMATOPHORES

วิพัทธ์ จินตนา¹

ทากะชิ ฮิราโน²

โทชิโอะ อิชิคาว่า³

Vipak Jintana

Takeshi Hirano

Toshio Ichikawa

ABSTRACT

The pneumatophores of the mangrove species namely *Avicennia* and *Sonneratia* photosynthesize and the photosynthetically generated O_2 is used for the respiration of the roots in subsoil. In order to know radiation environment of the pneumatophores, we measured solar radiation on the vertical surface (Rv) in water with dye films. The average Rv at 30 cm depth during the daytime was similar to the light compensation points in the pneumatophores. From this result, it can be supposed that in the daytime the photosynthesis nearly compensated the respiration at a depth of 30 cm and supplied O_2 to the roots in subsoil at shallower places, even when the pneumatophores submerged.

บทคัดย่อ

รากอากาศของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในสกุลแสม (*Avicennia*) และลำพู-ลำแพน (*Sonneratia*) สามารถสังเคราะห์แสงและผลิตก๊าซออกซิเจนเพื่อช่วยการหายใจของรากที่อยู่ในดินเลนซึ่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอ เพื่อให้ทราบสภาวะแวดล้อมเกี่ยวกับปริมาณแสงบริเวณรากอากาศดังกล่าว จึงได้ทดลองใช้แผ่นฟิล์มสี (dye film) ตรวจวัดปริมาณความเข้มของแสงบนพื้นผิวตามแนวตั้งได้ระดับความลึกที่ระยะต่างๆ กัน ปรากฏว่า ในช่วงกลางวัน ปริมาณความเข้มของแสงเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีค่าใกล้เคียงกับค่า light compensation point ของรากอากาศ ซึ่งจากผลอันนี้ สามารถอนุมานได้ว่าการสังเคราะห์แสงของรากอากาศในเวลากลางวัน นอกจากช่วยชดเชยปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้สำหรับการหายใจของรากอากาศในขณะที่จมอยู่ใต้ผิวน้ำแล้ว ยังผลิตออกซิเจนให้กับระบบรากที่อยู่ใกล้ผิวดินอีกด้วย

คำนำ

สภาพดินในป่าชายเลนมักขาดออกซิเจน เนื่องจากการท่วมของน้ำทะเลอยู่เป็นประจำ แม้

ในขณะที่น้ำลงต่ำสุดอนุภาคดินซึ่งมีขนาดเล็กก็ยังอุ้มน้ำไว้จนทำให้ไปกีดขวางการถ่ายเทของอากาศลงสู่ใต้ผิวดิน พันธุ์ไม้ป่าชายเลนหลายชนิดจึงมีการพัฒนาระบบรากอากาศที่โผล่ขึ้นเหนือผิวดิน

¹ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

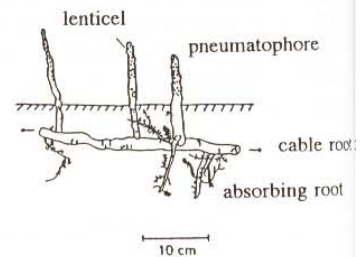
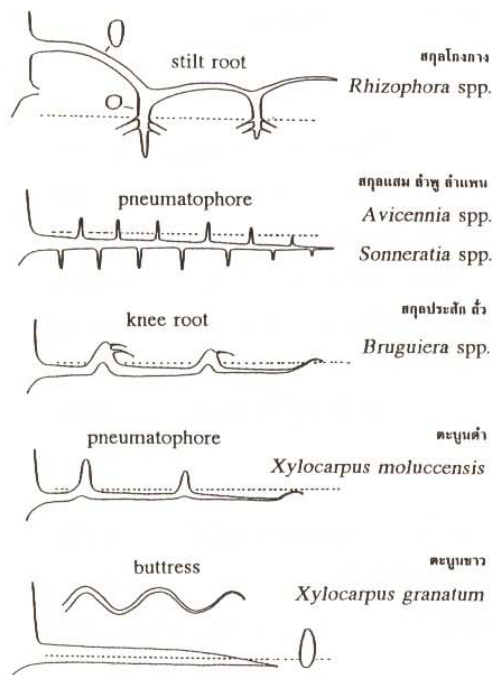
² College of Agriculture, University of Osaka Prefecture, Sakai 593, Japan

³ Image& Remote Sensing Research Center, Chiba University, Chiba 263, Japan

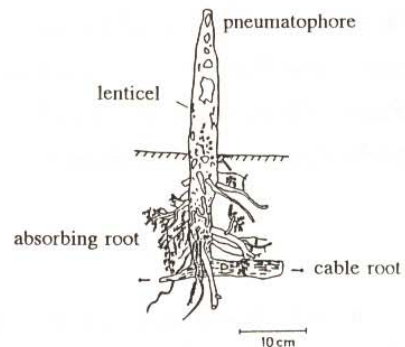
เลนเพื่อช่วยในการหายใจ รากอากาศเหล่านี้มีลักษณะแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ไม้ (วิพิศตร์ 2537) บ้างก็ยื่นออกมาจากส่วนของลำต้นหรือกิ่ง บ้างก็โผล่ขึ้นมาจากรากที่อยู่ใต้ผิวดิน (ภาพที่ 1) ได้ชั้น epidermis ของรากอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งของไม้ในสกุลแสม ลำพู และลำแพน จะมีชั้นสีเขียวซึ่งประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ปรากฏอยู่อย่างเด่นชัด

Yabuki และคณะ (1990a, 1990b และ 1991) พบว่าชั้นสีเขียวในรากอากาศของไม้ป่าชายเลนใน

สกุลแสม (*Avicennia*) และลำพู ลำแพน (*Sonneratia*) มีการสังเคราะห์แสง และผลิตก๊าซออกซิเจนใช้ในกระบวนการหายใจของรากที่อยู่ในดินเลนซึ่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอ กระบวนการสังเคราะห์แสงของรากอากาศดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกับที่เกิดขึ้นในใบที่อยู่ใต้มันซึ่งจะมีค่า light compensation point ต่ำ (Yabuki และคณะ 1990a) และมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้นที่ระดับความเข้มของแสงลดต่ำลง (Aiga และคณะ 1995)



Root system of *Avicennia* spp.



Root system of *Sonneratia* spp.

ภาพที่ 1. รูปสัณฐานรากอากาศของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบปัจจัยสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับแสงซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการสังเคราะห์แสงในรากอากาศ โดยการตรวจวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ทั้งในแนวราบและแนวตั้งที่ได้ระดับผิวน้ำด้วยแผ่นฟิล์มสี (dye film) พัฒนาขึ้นโดย Yoshimura และคณะ (1990) เพื่อใช้วัดและประมาณค่าความเข้มของแสงสะสมอย่างต่อเนื่อง (integrated total solar radiation) และเนื่องจากรากอากาศดังกล่าวมีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกชี้ขึ้นด้านบน ความเข้มของแสงที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงเป็นแสงที่สัมผัสกับพื้นผิวในแนวตั้งไม่ใช่ในแนวระนาบ

อุปกรณ์และวิธีการ

ได้ดำเนินการทดลองในบริเวณป่าชายเลนอำเภอตะกั่วทุ่ง จังหวัดพังงา ที่เส้นรุ้ง $8^{\circ} 20'$ เหนือ และเส้นแวง $98^{\circ} 27'$ ตะวันออก (ภาพที่ 2) โดยเลือกลำคลองซึ่งมีขนาดความกว้างประมาณ 10 เมตร มีทิศทางการไหลของน้ำทะเลในขณะน้ำขึ้นไปในทางทิศตะวันออก และไหลไปทางทิศตะวันตกในขณะน้ำลง อุปกรณ์วัดความเข้มของแสงประกอบด้วยโครงสร้างที่ดัดแปลงจากเส้นลวดและโคมช่วยพวยรักษาระดับตามแนวตั้งของแผ่นฟิล์มที่ใช้วัดแสงซึ่งมีขนาด 12×35 มิลลิเมตร ติดอยู่ตอนปลายส่วนแขนที่ยื่นออกจากโครงลวดไปทางทิศใต้ (ภาพที่ 3) อุปกรณ์ดังกล่าวถูกติดตั้งเข้ากับเสาหลักที่ปักไว้ ณ จุดกึ่งกลางของลำคลองเพื่อวัดค่าความเข้มของแสงสะสมตามแนวราบและแนวตั้ง (เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก) ทั้งที่ระดับ เหนือผิวน้ำและที่ระดับความลึก

1, 5, 10, 15 และ 30 เซนติเมตรใต้ผิวน้ำ โดยปราศจากการบดบังของร่มเงาต้นไม้ที่อยู่บริเวณสองฝั่งคลอง ระยะเวลาในการวัดเท่ากับ 48 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 14.00 นาฬิกา วันที่ 9 เมษายน ถึงเวลา 14.00 นาฬิกา วันที่ 11 เมษายน 2538

แผ่นฟิล์มสี (dye film) ที่ใช้วัดในการทดลองนี้เป็นอุปกรณ์ง่ายๆ มีลักษณะเป็นฟิล์มถ่ายภาพชนิด triacetylcellulose ด้านล่างเคลือบด้วย azo dye (Oil Red O) โดยใช้หลักการว่า สีของแผ่นฟิล์มจะเลื่อนจากลงไปเมื่อถูกสัมผัสด้วยแสงอาทิตย์ ความเข้มสะสมของแสงบนแผ่นฟิล์มสามารถคำนวณได้จากสมการของ Yoshimura และคณะ (1990) ดังนี้

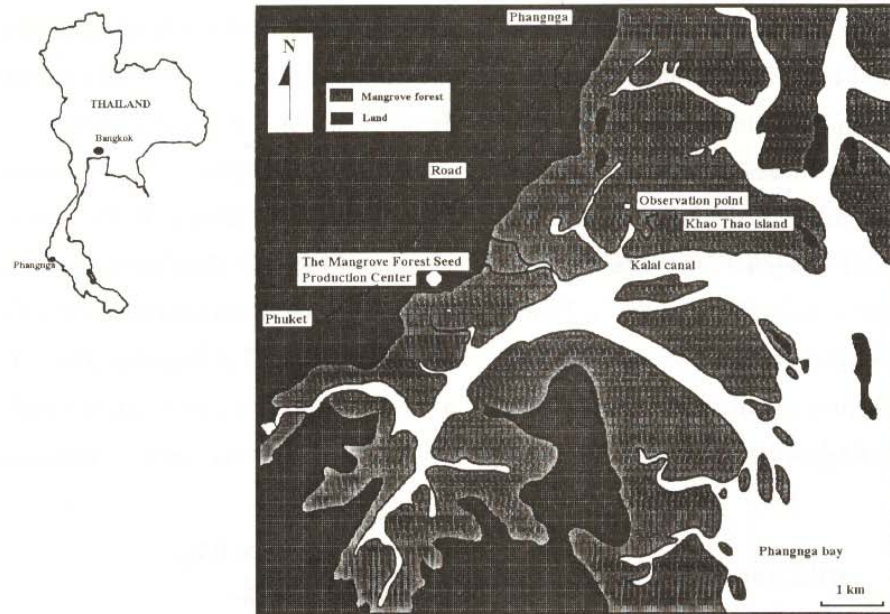
$$kR = - \ln D/D_0$$

เมื่อ k คือ ค่าอัตราคงที่

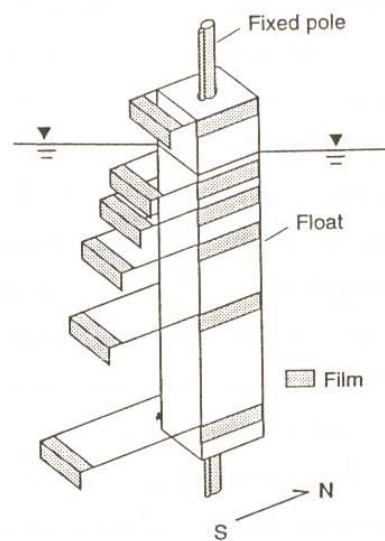
R คือ ความเข้มสะสมรวมของแสงอาทิตย์ (total amount of incident radiation)

D และ D_0 คือ การดูดซับแสงของแผ่นฟิล์มก่อนและหลังการสัมผัส ตามลำดับ

ค่า k ได้จากการแทนค่า R ค่า D และค่า D_0 ที่ได้จากแผ่นฟิล์มตามแนวราบที่อยู่เหนือผิวน้ำในสมการข้างต้น สำหรับค่า D และค่า D_0 วัดที่ระดับคลื่นแสงที่ถูกดูดซับไว้ได้สูงสุด (peak absorption wavelength (520 nm) โดยใช้วิธีวัดด้วย spectrophotometer (Jasco, Ubest-50) ร่วมกับ integration sphere (Jasco, TIS-341) ส่วนค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกสู่ผิวโลกวัดด้วย pyranometer (Eko, MS-100) ซึ่งติดตั้งไว้บนเสาไม้ ที่ระดับความสูง 15 เมตรเหนือผิวดิน หรือประมาณ 5 เมตรเหนือเรือนยอดป่าชายเลน ห่างจากจุดทดลองไปด้านทิศเหนือประมาณ 50 เมตร



ภาพที่ 2. แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 3. อุปกรณ์วัดความเข้มสะสมของแสง

ผลและวิจารณ์

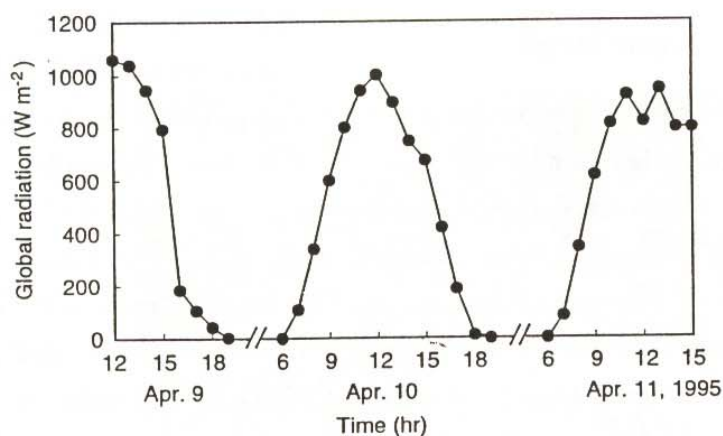
ข้อมูลสิ่งแวดล้อม เกี่ยวกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ส่องลงสู่ผิวโลกในภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าลักษณะอากาศในช่วงเวลาของการศึกษาทดลองค่อนข้างปลอดภัยไปร้งตลอด ยกเว้นในช่วงเย็นของวันที่ 9 เมษายน 2538 และพบว่าที่ระดับสูงสุดของดวงอาทิตย์ จะทำมุมกับพื้นผิวโลกประมาณ 89° น้ำทะเลในลำคลองมีลักษณะขุ่นเนื่องจากมีตะกอนละเอียดที่แขวนลอยปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก จนทำให้ไม่สามารถมองเห็นแผ่นฟิล์มที่ติดไว้ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรได้ผิวน้ำ

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มสะสมของแสง ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการศึกษา จะเห็นว่าความเข้มสะสมของแสงตามแนวราบที่ระดับ 5 เซนติเมตรได้ผิวน้ำลดลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของความเข้มแสงเหนือผิวน้ำ (global radiation) และลดลงเหลือเพียง $1/20$ ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความมืดดับของแสงได้น้ำตาม Lambert-Beer's Law ได้ประมาณ 10 ต่อเมตร

ที่ระดับเหนือผิวน้ำ ปริมาณความเข้มสะสมของแสงตามแนวตั้งด้านทิศตะวันออก และทิศตะวันตกมีค่าประมาณ 30% ของแสงตามแนวราบเหนือผิวน้ำ ในด้านทิศใต้มีค่า ประมาณ 14% ส่วนด้านทิศเหนือมีค่าประมาณ 6% เนื่องจากค่าความเข้มของแสงตามแนวตั้งมีค่าสูงขึ้นเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ ได้แก่ ช่วงเช้าและช่วงเย็น จึงทำให้ค่าความเข้มในด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีค่าสูงกว่าทางด้านทิศใต้ ในด้านทิศเหนือ ค่าความเข้มตามแนวตั้งเกิดจากการแผ่และ

การสะท้อนของแสงอาทิตย์เท่านั้น ส่วนความเข้มตามแนวตั้งของแสงใต้ผิวน้ำ ทั้งทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีค่าลดลงตามระดับความลึก ในขณะที่ด้านทิศเหนือไม่ปรากฏชัดว่ามีผลจากระดับความลึกใต้ผิวน้ำ ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตรได้ผิวน้ำ ความเข้มตามแนวตั้งในด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีค่า 13-15% ของความเข้มแสงตามแนวราบเหนือผิวน้ำซึ่งสูงกว่าทางด้านทิศใต้ และทิศเหนือ อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความลึกมากกว่า 5 เซนติเมตรขึ้นไป พบว่าความเข้มของแสงตามแนวตั้งทั้ง 4 ทิศมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนั้น ความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มของแสงตามแนวราบและแนวตั้งมีค่าน้อยมากที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึกมากกว่า 5 เซนติเมตรได้ผิวน้ำที่มีตะกอนโคลนตมปะปนอยู่มาก การแผ่กระจายของแสงส่วนใหญ่ไม่อาจผ่านลงไปได้และมีปริมาณแสงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

แม้ว่า การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของค่าความเข้มของแสงตามแนวตั้งใต้ผิวน้ำทั้ง 4 ทิศอาจจะแตกต่างกันก็ตาม ปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นผิวน้ำรอบรากหายใจที่ระดับลึก 30 เซนติเมตรเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในเวลากลางวัน (ยกเว้นตอนเช้าและตอนเย็น) โดยที่ระดับลึก 5, 10, 15, และ 30 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงตามแนวตั้งทางด้านทิศเหนือ ได้ตะวันออก และตะวันตก มีค่าเท่ากับ 3.33, 2.65, 2.23 และ 1.68 เมกกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m) ตามลำดับ ซึ่งจากค่าดังกล่าว ประกอบกับระยะเวลาในช่วงกลางวันเป็น 24 ชั่วโมง (ตลอดการทดลองรวม 48 ชั่วโมง) จึงสามารถคำนวณค่า



ภาพที่ 4. การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงเหนือเรือนยอดป่าชายเลน

ตารางที่ 1. ความเข้มสะสมของแสง (MJ/m^2) ตลอดระยะเวลา 48 ชั่วโมง

ระนาบ	ทิศทาง	ที่ระดับเหนือผิวน้ำ	ที่ระดับความลึกใต้ผิวน้ำ (เซนติเมตร)				
			1	5	10	15	30
แนวราบ		$47.7 \pm 0.7^*$	40.5 ± 0.9	23.9 ± 0.8	15.3 ± 0.4	7.6 ± 0.6	2.4 ± 0.2
		(100)**	(85)	(50)	(32)	(16)	(5)
แนวตั้ง	เหนือ	2.9 ± 0.2	2.8 ± 0.3	2.8 ± 0.3	2.4 ± 0.2	2.3 ± 0.2	1.9 ± 0.2
		(6)	(6)	(6)	(5)	(5)	(4)
	ตะวันออก	14.8 ± 0.4	7.2 ± 0.4	3.4 ± 0.3	2.9 ± 0.2	2.4 ± 0.2	1.5 ± 0.1
		(31)	(15)	(7)	(6)	(5)	(3)
	ใต้	6.7 ± 0.3	4.3 ± 0.3	3.3 ± 0.3	2.4 ± 0.2	1.9 ± 0.2	1.4 ± 0.1
		(14)	(9)	(7)	(5)	(4)	(3)
	ตะวันตก	12.9 ± 0.4	6.2 ± 0.4	3.8 ± 0.4	2.9 ± 0.3	2.3 ± 0.2	1.9 ± 0.2
		(27)	(13)	(8)	(6)	(5)	(4)

* Mean $\pm$ SD (N ตามแนวราบ = 4 ตามแนวตั้ง = 3)

** ร้อยละของค่าเฉลี่ยตามแนวราบเหนือผิวน้ำ

ความเข้มของแสงตามแนวตั้งเฉลี่ยตลอดทั้งวันที่ระดับความลึก 5, 10, 15 และ 30 เซนติเมตร ได้เท่ากับ 39, 31, 26 และ 19 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ตามลำดับ

Yabuki และคณะ (1990a) ได้รายงานผลการศึกษาการสังเคราะห์แสงของรากหายใจ ของไม้แสมทะเล (*Avicennia marina*) และไม้ลำพูทะเล (*Sonneratia alba*) ว่ามีค่า light compensation

point ในการสังเคราะห์แสงระหว่าง 0.02-0.03 แคลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที ($\text{Cal/cm}^2/\text{min}$) หรือเท่ากับ 14-21 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความเข้มเฉลี่ยของแสงตามแนวโค้งในช่วงกลางวันระดับ 30 เซนติเมตรใต้ผิวน้ำ ในการศึกษาดังกล่าว compensation point ประมาณจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงต่อหน่วยพื้นที่ตามแนวราบและอัตราการสังเคราะห์แสงซึ่งวัดใน chamber โดยนำเอารากอากาศตามแนวราบภายใต้สภาพควบคุมการปล่อยให้แสงส่องลงจากด้านบนลงด้านล่าง ซึ่งวิธีดังกล่าวทำให้ผิวด้านล่างของรากหายใจถูกบดบังแสงเอาไว้ ดังนั้นหากความเข้มเฉลี่ยของแสงบนพื้นผิวของรากถูกใช้ในการสังเคราะห์แสง light compensation point ก็จะมีค่าต่ำกว่านั้น สรุปว่า การสังเคราะห์แสงของรากอากาศในเวลากลางวัน นอกจากจะชดเชยกาซออกซิเจนสำหรับใช้ในการหายใจของรากอากาศขณะจมอยู่ใต้ผิวน้ำแล้ว ยังช่วยผลิตออกซิเจนให้กับระบบรากใกล้ผิวดินด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อสรุปดังกล่าวได้จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการควบคุมสภาพสิ่งแวดล้อมตามต้องการเท่านั้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการดำเนินการทดลองภายใต้สภาพสิ่งแวดล้อมอื่นๆต่อไป

คำนิยาม

ขอขอบคุณ ดร. จิตต์ กงแสงไชย ผู้อำนวยการสำนักงานป่าไม้ ศาสตราจารย์ กาซุโตะชิยาบุกิ ศาสตราจารย์โนบุตากะ มนจิ นายเคน ฮาโมดानी มหาวิทยาลัยโอซาก้า ปรีเฟคเจอร์ประเทศญี่ปุ่น นายสมศักดิ์ พิริยะโยธา หัวหน้าศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ไม้ป่าชายเลน จังหวัดพังงา

และ เจ้าหน้าที่ทุกท่านที่สนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณมูลนิธินิปปอนไอฟ์อินชัวรันส์ ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- วิพัทธ์ จินตนา. 2528. การปรับตัวทางสรีระและด้านอื่นๆ ของพันธุ์พืชในป่าชายเลน. ในรายงานการสัมมนาระบบนิเวศวิทยาป่าชายเลนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. จังหวัดภูเก็ต. 26-29 กรกฎาคม 2528. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.
- Aiga, I., Y. Nakano, S. Ohki, Y. Kitaya and K. Yabuki. 1995. Photosynthetic CO_2 fixation in pneumatophores of grey mangrove, *Avicennia marina*. *Environmental Control in Biology* 33: 97-101.
- Yabuki, K., Y. Kitaya and J. Sugi. 1990a. Studies on the function of mangrove pneumatophores (1). *Environmental Control in Biology* 28: 95-98 (in Japanese with English summary).
- Yabuki, K., Y. Kitaya and J. Sugi. 1990b. Studies on the function of mangrove pneumatophores (2). *Environmental Control in Biology* 28: 99-102 (in Japanese with English summary).
- Yabuki, K., Y. Kitaya and J. Sugi. 1991. The functional adaptation of mangrove pneumatophores to the tidal level. *Bulletin Society of Sea Water Scientist* 45: 126-129 (in Japanese).
- Yoshimura, T., T. Ishikawa and K. Komiyama. 1990. Simple measurement of integrated solar radiation. *International Journal of Solar Energy* 9: 193-204.