

การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ

Carbon Dioxide Uptake of Mixed Deciduous Forest Tree Species

สาพิศ ดิลกสัมพันธ¹

Sapit Diloksumpun

ภาณุมาศ ลาดปลาชะ¹

Phanumard Ladpala

เจษฎา เหลืองแจ่ม¹

Jesada Luangjame

บทคัดย่อ

การศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณเป็นงานวิจัยส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการเก็บกักและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางภาคป่าไม้ของไทย โดยทำการศึกษาดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของการสังเคราะห์แสงในรอบวันของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณจำนวน 14 ชนิด จาก 6 วงศ์ (family) ณ สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบในรอบวันของการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis) และค่าดัชนีการเปิด-ปิดของปากใบ (stomatal conductance) มีความผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของพรรณไม้และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งความผันแปรในรอบวันของการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมของแสงและปากใบ ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ที่ศึกษามีความผันแปรสูง ($P < 0.01$) โดยที่ไม้สักเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ในขณะที่ไม้แดงมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะมีอัตราการคายน้ำสูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำต่ำ แต่ก็มีพรรณไม้หลายชนิด เช่น ชิงชัน อินทรี และยมหิน มีประสิทธิภาพการใช้น้ำค่อนข้างสูงจึงมีแนวโน้มว่าจะเป็นพรรณไม้ที่ทนแล้งได้ดี โดยที่ข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้เบญจพรรณที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญนำไปสู่การประมาณค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการเก็บกักคาร์บอนของระบบนิเวศป่าเบญจพรรณต่อไป

คำสำคัญ: ป่าเบญจพรรณ การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การสังเคราะห์แสงสุทธิ

¹ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช 61 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กทม. 10900
(E-mail: sapitd@yahoo.com)

Abstract

Study on carbon dioxide (CO₂) uptake of mixed deciduous forest tree species was a part of the climate change research project - Greenhouse gas sequestration and emission of forestry sector in Thailand. Diurnal courses of leaf net photosynthesis of 14 selected species in 6 families were determined at the Research and Training in Reforestation and Afforestation Station, Nakhon Ratchasima province. CO₂ uptake capacity and related parameters as well as environmental factors affecting CO₂ uptake capacity were discussed.

Diurnal courses of gas exchange of the studied species varied considerably depending on tree species and related daily environmental factors. Diurnal variation in net photosynthesis reflected primarily differences in light environments and stomatal factors. The results also showed significant variation in gas exchange parameters ($P < 0.01$). The greatest daily CO₂ uptake was observed in Teak (*Tectona grandis*) and the lowest in *Xylia xylocarpa* var. *kerrii*. The species gaining higher CO₂ uptake generally exhibited higher water losses through transpiration, thereby attaining lower water use efficiency (WUE). However, some tree species including *Dalbergia oliveri*, *Lagerstroemia loudonii* and *Chukrasia velutina* had comparatively high WUE, indicating their adaptability under drought conditions. CO₂ uptake data of some mixed deciduous forest tree species provided in this study could be, therefore, essential background information for estimation of CO₂ uptake and carbon sequestration of mixed deciduous forest ecosystems.

Keywords: mixed deciduous forest, CO₂ uptake, net photosynthesis

คำนำ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากที่สุดในบรรยากาศ ปัจจุบันมีประมาณ 345-360 ppm และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง กิจกรรมทางด้านป่าไม้นับเป็นกิจกรรมสาขาหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในบรรยากาศ โดยภาพรวมแล้วการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศประมาณร้อยละ 20 เกิดจากการสูญเสียคาร์บอนที่เก็บกักในรูปเนื้อไม้เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่าและการสูญเสียคาร์บอนจากดินจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากรายงานการสำรวจปริมาณก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยเมื่อปี 2537 พบว่ากิจกรรมทางด้านป่าไม้มีการปลดปล่อยคาร์บอนประมาณ 16.5 ล้านตัน หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 60.5 ล้านตัน (OEPP, 2000) แต่ปริมาณการปลดปล่อยในปี 2537 นี้คิดเป็นเพียงร้อยละ 70 ของปริมาณการปลดปล่อยในปี 2533 ทั้งนี้จะมิสาเหตุมาจากการลดลงของการตัดไม้ทำลายป่าและการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สวนป่า ทั้งนี้ต้นไม้

สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) เพื่อนำมาเก็บกักไว้ในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) จากรายงานการสำรวจปริมาณก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยปี พ.ศ. 2537 พบว่าพื้นที่สวนป่าและป่าธรรมชาติที่กำลังเจริญเติบโตสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 39.1 ล้านตันต่อปี (OEPP, 2000)

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้แต่ละชนิดมีความผันแปรค่อนข้างสูงขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของพรรณไม้และปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ ตลอดจนปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ ดังนั้นงานวิจัยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการเก็บกักและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางภาคป่าไม้ของประเทศไทย (Greenhouse gas sequestration and emission of forestry sector in Thailand) จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ จำนวน 14 ชนิด จาก 6 วงศ์ (family) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประมาณค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าเบญจพรรณเปรียบเทียบกับป่าชนิดอื่นๆ ของประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ (leaf net photosynthesis) ของพรรณไม้เบญจพรรณชนิดต่างๆ จำนวน 14 ชนิด จาก 6 วงศ์ บริเวณสถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา (Table 1) โดยคัดเลือกตัวอย่างพรรณไม้ชนิดละ 1 ต้น (single tree sampling) และสุ่มเลือกใบที่มีพัฒนาการเต็มที่ สมบูรณ์ และได้รับแสงเต็มที่ (sun leaf) ซึ่งกระจายอยู่บริเวณด้านนอกของเรือนยอด ต้นละ 10 ใบ

วัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องมือวัดการสังเคราะห์แสง Portable Photosynthesis System LI-6400 (LICOR Inc., USA) ซึ่งเป็นเครื่องมือระบบเปิด (open system) ชนิดนำเคลื่อนที่ได้ โดยเครื่องจะทำการบันทึกข้อมูล ความเข้มแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง (photosynthetic photon flux density, PPFD) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ (ambient CO₂ concentration, C_a) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์ (intercellular CO₂ concentration, C_i) ความดันไอ (vapor pressure) อุณหภูมิอากาศ (ambient temperature, T_{air}) และอุณหภูมิใบ (leaf temperature, T_{leaf}) เพื่อนำไปคำนวณการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis, A) ค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบ (stomatal conductance, g_s) การคายน้ำ (transpiration, E) ความแตกต่างของความดันไอรหว่างใบและอากาศ (leaf-to-air vapor pressure

difference, LAVPD) โดยวัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทุกๆ ชั่วโมง ตั้งแต่เวลาประมาณ 7.00-18.00 น. นอกจากนี้ยังวัดการหายใจในที่มืด (dark respiration) ของใบตัวอย่างภายหลังจากไม่มีแสงแล้ว (หลังจาก 18.00 น.) และคำนวณประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water-use efficiency, WUE) ของใบจากอัตราส่วนระหว่างการสังเคราะห์แสงสุทธิต่อการคายน้ำ โดยทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2546 - เดือนตุลาคม 2546 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน

Table 1 Lists of mixed deciduous forest tree species studied at the Research and Training in Reforestation and Afforestation Station, Nakhon Ratchasima province

Common name	Scientific name	Family
ขานาง	<i>Homalium tomentosum</i> (Vent.)	Flacourtiaceae
กระบก	<i>Irvingia malayana</i> Oliv ex A.W.Benn	Ixonanthaceae
สัก	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Labiatae
กาสำปีก	<i>Vitex peduncularis</i> Wall.ex Schauer	Labiatae
มะค่าแต้	<i>Sindora siamensis</i> Teijsm.&mig	Leguminosae – Caesalpinoideae
แดง	<i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) Taub. var. <i>kerrii</i> (Crarb & Hutch) I.C. Neilsen	Leguminosae – Mimosoideae
ทองกวาว	<i>Butea monosperma</i> (Lam) Taub	Leguminosae – Papilionoideae
พะยุง	<i>Dalbergia cochinchinensis</i> Pierre	Leguminosae – Papilionoideae
ชิงชัน	<i>Dalbergia oliveri</i> Gamble	Leguminosae – Papilionoideae
ประดู่ป่า	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Leguminosae – Papilionoideae
ตะแบก	<i>Lagerstroemia calyculata</i> Kurz	Lythraceae
ตะแบกนา	<i>Lagerstroemia floribunda</i> Jack	Lythraceae
อินทรี	<i>Lagerstroemia loudonii</i> Teijsm.&Dinn	Lythraceae
ขมิ้น	<i>Chukrasia velutina</i> (M. Roem) C.DC.	Meliaceae

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์การสังเคราะห์แสงสุทธิของใบและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตามวิธีการ Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS (SPSS., USA)

วิเคราะห์การตอบสนองของการสังเคราะห์แสงสุทธิต่อความเข้มแสง โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้น (non-linear regression) ตามรูปแบบสมการ asymptotic exponential (Boote and Loomis, 1991):

$$A = A_{sat} \left[1 - e^{\left(\frac{-\phi PPF D}{A} \right)} \right] - R_d,$$

โดยที่ A = net photosynthesis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);
 $PPFD$ = photosynthetic photon flux density ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
 A_{sat} = light-saturated gross photosynthesis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
 ϕ = quantum yield of photosynthesis
 R_d = dark respiration ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์แสงสุทธิและค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบ โดยใช้ความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงเส้น (simple linear regression)

ผลและวิจารณ์

ความผันแปรในรอบวัน (Diurnal variation)

จากการศึกษาความผันแปรของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณจำนวน 14 ชนิด ในรูปของการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบดังแสดงใน Figure 1 พบว่า พรรณไม้ส่วนใหญ่จะเริ่มกระบวนการสังเคราะห์แสงเมื่อมีแสง และการสังเคราะห์แสงสุทธิจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า โดยที่การสังเคราะห์แสงสุทธิจะถึงจุดสูงสุดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดไม้และสภาพแวดล้อม (Table 2) พรรณไม้หลายชนิดใบมีการตอบสนองต่อความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงเช้ามืดค่อนข้างเร็ว ทำให้การสังเคราะห์แสงสุทธิของใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากที่ได้รับแสง และถึงจุดสูงสุดในช่วงเช้า เช่น กระบก อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะถึงจุดสูงสุดก่อน 10.00 น. (Figure 1a) การตอบสนองของใบอย่างรวดเร็วต่อแสงในช่วงเช้านี้มีการศึกษาพบในพรรณไม้เต็งรังบางชนิด เช่น เปล้าหลวง และมะเมี (สาพิศ และคณะ, 2546) ในขณะที่พรรณไม้ป่าเบญจพรรณหลายชนิดในการศึกษาครั้งนี้ใบมีการตอบสนองต่อความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงจะถึงจุดสูงสุดใกล้เที่ยงวัน เช่น มะค่าแต้ (Figure 1b) ซึ่งลักษณะเช่นนี้ก็พบในไม้ป่าเต็งรังหลายชนิด เช่น กระพี้จั่น และตะโกพนม (สาพิศ และคณะ, 2546) โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณทั้ง 14 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$, Table 2) การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีความผันแปรตั้งแต่ $6.90\text{--}24.32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ โดยที่สักมีการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดสูงกว่าพรรณไม้ชนิดอื่นๆ รองลงมาได้แก่ มะค่าแต้ กระบก และยมหิน ตามลำดับ ในขณะที่การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของแดงและขานางมีค่าต่ำสุด

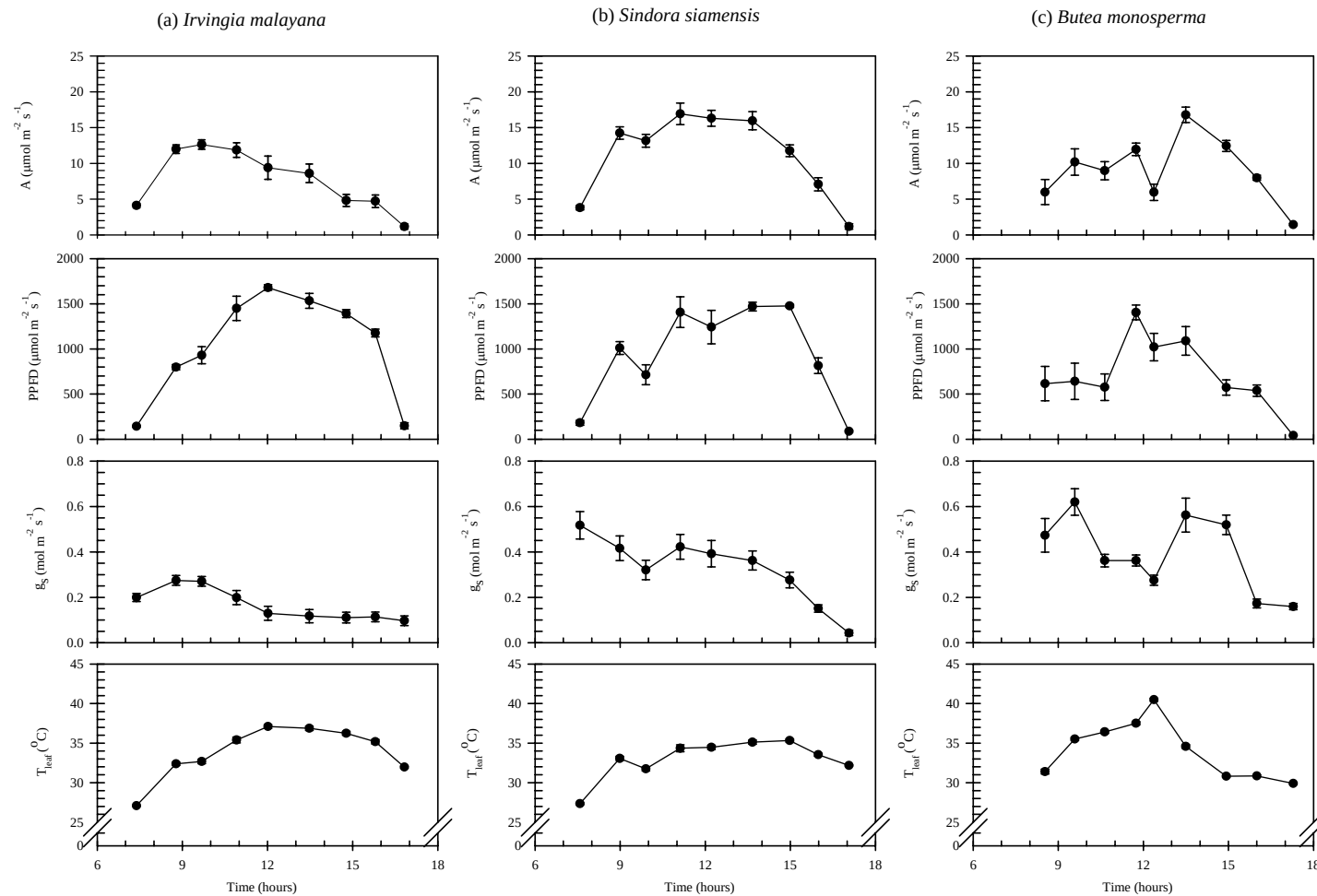


Figure 1 Diurnal courses of leaf net photosynthesis (A), photosynthetic photon flux density (PPFD) stomatal conductance (g_s) and leaf temperature (T_{leaf}) of some mixed deciduous forest tree species. Each symbol represents mean $\pm$ SE ($n=10$).

Table 2 Maximum net photosynthesis (A), photosynthetic photon flux density (PPFD) and time of 14 mixed deciduous forest tree species. Data (mean±SE) followed by the same superscript letters are not significantly different ($n=10$)

Species	Maximum A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	PPFD ¹ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Time ¹ (hour)
<i>Homalium tomentosum</i>	6.99 ± 0.28 ^a	1517.3 ± 110.1	10:50
<i>Irvingia malayana</i>	14.45 ± 0.40 ^c	998.2 ± 30.4	08:45
<i>Tectona grandis</i>	24.32 ± 1.21 ^c	1782.1 ± 29.0	11:00
<i>Vitex peduncularlis</i>	7.95 ± 0.61 ^a	522.2 ± 99.5	10:00
<i>Sindora siamensis</i>	17.91 ± 1.30 ^d	1407.2 ± 170.0	11:10
<i>Xylia xylocarpa</i> var. <i>kerrii</i>	6.90 ± 1.21 ^a	1277.4 ± 95.4	10:45
<i>Butea monosperma</i>	13.06 ± 1.04 ^{bc}	1089.3 ± 158.6	13:30
<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	11.89 ± 0.90 ^b	773.4 ± 48.9	08:30
<i>Dalbergia oliveri</i>	12.36 ± 0.73 ^{bc}	1264.4 ± 196.8	10:30
<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	8.95 ± 0.64 ^a	1215.1 ± 148.1	11:15
<i>Lagerstroemia calyculata</i>	8.95 ± 0.49 ^a	995.0 ± 52.4	10:20
<i>Lagerstroemia floribunda</i>	7.09 ± 0.72 ^a	1247.9 ± 120.9	13:00
<i>Lagerstroemia loudonii</i>	11.48 ± 0.44 ^b	1128.6 ± 108.7	11:30
<i>Chukrasia velutina</i>	13.46 ± 0.47 ^{bc}	430.9 ± 54.8	11:25

¹ parameters where A reached maximum.

หลังจากที่การสังเคราะห์แสงสุทธิขึ้นถึงจุดสูงสุดแล้วการสังเคราะห์แสงสุทธิของพรรณไม้ส่วนใหญ่ก็จะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเที่ยงวันแม้ว่าความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้น ลักษณะที่การสังเคราะห์แสงสุทธิลดต่ำลงในช่วงเที่ยงวัน (midday depression) นี้พบได้ทั่วไปในพรรณไม้ป่าหลายชนิดในเขตร้อน (สาพิศ และลดาวัลย์, 2539; ลดาวัลย์, 2544; สาพิศ และคณะ, 2546; Chaisalee, 2000) และเขตอบอุ่น (Schulze and Hall, 1982) ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิใบที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อใบได้รับแสงเป็นเวลานาน (Figure 1) ต้นไม้จึงปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการคายน้ำ ทำให้ต้นไม้ไม่สามารถทำการแลกเปลี่ยนก๊าซได้อย่างเต็มที่ (Kramer and Kozlowski, 1979; Andrews and Muller, 1985)

อย่างไรก็ตาม รูปแบบการสังเคราะห์แสงในรอบวันของพรรณไม้บางชนิดที่ศึกษามีลักษณะไม่แน่นอน ส่วนหนึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากความผันแปรของปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ความเข้มแสงที่มีความผันแปรเนื่องจากมีเมฆปกคลุมในบางช่วงของวัน เช่นที่พบใน ทองกวาว โดยที่การสังเคราะห์แสงมีแนวโน้มผันแปรไปตามความเข้มแสง (Figure 1c) แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการ

ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของพรรณไม้มีความผันแปรค่อนข้างสูงสาเหตุหนึ่งน่าจะเกิดจากความผันแปรของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงในแต่ละวัน

นอกจากรูปแบบความผันแปรในรอบวันของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงแล้วค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ของพรรณไม้เบญจพรรณทั้ง 14 ชนิด ได้แก่ การสังเคราะห์แสงสุทธิ ค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบ การคายน้ำ ความเข้มแสง และการหายใจในที่มืด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$, Table 3) การสังเคราะห์แสงสุทธิเฉลี่ยมีความผันแปรระหว่าง $3.58\text{--}14.18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ โดยใบสักมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเฉลี่ยสูงกว่าพรรณไม้ชนิดอื่นๆ เช่นเดียวกัน รองลงมาได้แก่ มะค่าแต้ ทองกวาว และยมหิน ตามลำดับ โดยเฉลี่ยแล้วพรรณไม้ป่าเบญจพรรณมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเฉลี่ยสูงกว่าพรรณไม้ป่าเต็งรัง (สาพิศ และคณะ, 2546) และมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพรรณไม้ป่าพื้นเมืองอื่นๆ (ลดาวัดย์, 2544; Chaisalee, 2000) ทั้งนี้ การสังเคราะห์แสงสุทธิดังกล่าวของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณหลายชนิดที่ศึกษามีค่าใกล้เคียงกับพรรณไม้โตเร็วต่างประเทศหลายชนิดที่เคยมีผู้ศึกษาไว้ (สาพิศ, 2545ก; Cole, 1994)

Table 3 Mean net photosynthesis (A), stomatal conductance (g_s), transpiration (E), photosynthetic photon flux density (PPFD) and dark respiration (R_d) of 14 mixed deciduous forest tree species. For each parameter, data (mean $\pm$ SE) followed by the same superscript letters are not significantly different ($n=10$)

Species	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	R_d ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
<i>Homalium tomentosum</i>	$5.64 \pm 0.32^{\text{cd}}$	$0.23 \pm 0.03^{\text{c}}$	$2.72 \pm 0.10^{\text{f}}$	$696.3 \pm 63.1^{\text{ab}}$	$0.85 \pm 0.06^{\text{a}}$
<i>Irvingia malayana</i>	$7.95 \pm 0.51^{\text{ef}}$	$0.17 \pm 0.01^{\text{cd}}$	$2.64 \pm 0.15^{\text{ef}}$	$1064.3 \pm 60.6^{\text{d}}$	$1.32 \pm 0.36^{\text{abcd}}$
<i>Tectona grandis</i>	$14.18 \pm 0.80^{\text{h}}$	$0.65 \pm 0.02^{\text{h}}$	$5.48 \pm 0.21^{\text{i}}$	$1047.2 \pm 66.5^{\text{d}}$	$1.81 \pm 0.25^{\text{c}}$
<i>Vitex peduncularis</i>	$4.07 \pm 0.34^{\text{ab}}$	$0.08 \pm 0.01^{\text{a}}$	$2.00 \pm 0.16^{\text{cd}}$	$692.9 \pm 72.5^{\text{ab}}$	$1.37 \pm 0.07^{\text{abcd}}$
<i>Sindora siamensis</i>	$11.99 \pm 0.63^{\text{g}}$	$0.35 \pm 0.02^{\text{g}}$	$4.22 \pm 0.22^{\text{g}}$	$1005.1 \pm 61.0^{\text{cd}}$	$2.45 \pm 0.28^{\text{c}}$
<i>Xylia xylocarpa</i> var <i>kkerrii</i>	$3.58 \pm 0.29^{\text{a}}$	$0.07 \pm 0.01^{\text{a}}$	$1.12 \pm 0.05^{\text{a}}$	$955.2 \pm 69.8^{\text{cd}}$	$1.39 \pm 0.10^{\text{abcd}}$
<i>Butea monosperma</i>	$9.20 \pm 0.57^{\text{f}}$	$0.46 \pm 0.04^{\text{g}}$	$4.65 \pm 0.23^{\text{h}}$	$713.3 \pm 56.7^{\text{ab}}$	$1.20 \pm 0.18^{\text{abcd}}$
<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	$5.57 \pm 0.41^{\text{cd}}$	$0.08 \pm 0.01^{\text{a}}$	$1.54 \pm 0.09^{\text{b}}$	$1056.1 \pm 62.1^{\text{d}}$	$1.56 \pm 0.45^{\text{bcd}}$
<i>Dalbergia oliveri</i>	$7.12 \pm 0.43^{\text{c}}$	$0.14 \pm 0.01^{\text{bcd}}$	$1.96 \pm 0.15^{\text{bcd}}$	$955.9 \pm 60.8^{\text{cd}}$	$1.73 \pm 0.24^{\text{cd}}$
<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	$4.14 \pm 0.29^{\text{ab}}$	$0.12 \pm 0.01^{\text{abc}}$	$1.91 \pm 0.12^{\text{bcd}}$	$560.6 \pm 48.1^{\text{a}}$	$0.95 \pm 0.12^{\text{ab}}$
<i>Lagerstroemia calyculata</i>	$6.79 \pm 0.26^{\text{de}}$	$0.29 \pm 0.02^{\text{f}}$	$4.06 \pm 0.10^{\text{g}}$	$824.0 \pm 42.6^{\text{bc}}$	$0.94 \pm 0.18^{\text{ab}}$
<i>Lagerstroemia floribunda</i>	$5.19 \pm 0.47^{\text{bc}}$	$0.20 \pm 0.02^{\text{de}}$	$2.24 \pm 0.11^{\text{de}}$	$711.1 \pm 62.2^{\text{ab}}$	$1.13 \pm 0.07^{\text{abc}}$
<i>Lagerstroemia loudonii</i>	$7.23 \pm 0.38^{\text{c}}$	$0.10 \pm 0.01^{\text{ab}}$	$1.65 \pm 0.08^{\text{bc}}$	$654.4 \pm 57.0^{\text{ab}}$	$0.97 \pm 0.16^{\text{ab}}$
<i>Chukrasia velutina</i>	$8.76 \pm 0.44^{\text{f}}$	$0.16 \pm 0.01^{\text{cd}}$	$2.14 \pm 0.11^{\text{d}}$	$939.2 \pm 53.8^{\text{cd}}$	$1.18 \pm 0.09^{\text{abcd}}$
Mean	7.29 ± 0.15	0.22 ± 0.01	2.74 ± 0.05	850.7 ± 16.8	1.34 ± 0.06

จากการศึกษาพบว่าความผันแปรของค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบของพรรณไม้ที่ศึกษาส่วนมากมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับการสังเคราะห์แสง (Figure 1) แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปากใบต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะแสดงในหัวข้อปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงในรอบวันในลำดับต่อไป และเมื่อเปรียบเทียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบ การคายน้ำ ความเข้มแสง และการหายใจในที่มืด พบว่าพรรณไม้ส่วนใหญ่ที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเฉลี่ยสูง เช่น สัก และมะค่าแต้ เป็นต้น มีค่าเฉลี่ยของค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบ การคายน้ำ ความเข้มแสง และการหายใจในที่มืดสูงด้วยเช่นกัน (Table 3)

ประสิทธิภาพของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณชนิดต่างๆ ในรูปแบบของการสังเคราะห์แสงสุทธิเฉลี่ยต่อวัน (A_{daily}) ซึ่งได้จากค่า integral ของพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงสุทธิในรอบวัน พบว่า การสังเคราะห์แสงสุทธิเฉลี่ยต่อวันของพรรณไม้ 14 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยไม้สักมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ($612.48 \text{ mmol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ หรือ $268.81 \text{ mg dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$) รองลงมาได้แก่ มะค่าแต้ ทองกวาว และยมหิน ตามลำดับ (Table 4) แต่พรรณไม้บางชนิด เช่น ประดู่ป่า กาสามปึก และแดง มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 60 ของค่าเฉลี่ยของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ($315.08 \text{ mmol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ หรือ $138.28 \text{ mg dm}^{-2} \text{ day}^{-1}$) สาเหตุส่วนหนึ่งน่าจะเกิดจากพรรณไม้ดังกล่าวนี้มีความเข้มแสงเฉลี่ยต่อวันค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณที่ศึกษาในครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเต็งรังที่ศึกษาโดยสาพิศ และคณะ (2546) ประมาณร้อยละ 20

ผลการศึกษาพบว่าการคายน้ำเฉลี่ยต่อวันมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ไม้สัก ซึ่งเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดมีการคายน้ำเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ $236.89 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ในขณะที่แดงซึ่งเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุดมีอัตราการคายน้ำเฉลี่ยต่อวันเพียง $48.22 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ เป็นต้น (Table 4) จากผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของการสังเคราะห์แสงสุทธิต่อการคายน้ำเป็นดัชนีสำคัญสำหรับชี้วัดประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water-use efficiency, WUE) ของพรรณไม้ทั้ง 14 ชนิด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยทั่วไปพรรณไม้ที่สามารถปรับตัวต่อภาวะแล้งได้ดีจะมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงกว่าพรรณไม้ที่ชอบความชุ่มชื้น โดยพรรณไม้ทนแล้งดังกล่าวมีการพัฒนากลไกความต้านทานในเนื้อเยื่อเพื่อ

ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบทำให้ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นอัตราส่วนที่มากกว่าการสูญเสียน้ำ (Cowan, 1982) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าไม้พุ่มไม้หลายชนิด ได้แก่ จิงชัน อินทรี และยมหิน มีแนวโน้มว่าจะเป็นพรรณไม้ที่ทนแล้งได้ดีตามลำดับ นอกจากนี้ ยมหินยังเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพรรณไม้ป่าเบญจพรรณชนิดอื่นๆ ที่ศึกษาในครั้งนี้ จึงเป็นพรรณไม้ที่น่าจะนำไปปลูกเพื่อช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่แห้งแล้งได้ดี

Table 4 Means of daily net photosynthesis (A_{daily}), stomatal conductance (g_s), transpiration (E), photosynthetic photon flux density (PPFD) and dark respiration (R_d) of 14 mixed deciduous forest tree species. For each parameter, data (mean $\pm$ SE) followed by the same superscript letters are not significantly different ($n=10$)

species	A_{daily}		$PPFD_{\text{daily}}$	E_{daily}	WUE
	$\text{mmol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	$\text{mg d m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	$\text{mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	$\text{mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	$\mu\text{mol}/\text{mmol}$
<i>Homalium tomentosum</i>	243.6 $\pm$ 13.8 ^{cd}	106.9 $\pm$ 6.1 ^{cd}	30.1 $\pm$ 2.73 ^{ab}	117.5 $\pm$ 4.4 ^f	2.3 $\pm$ 0.2 ^{ab}
<i>Irvingia malayana</i>	343.4 $\pm$ 22.0 ^{ef}	150.7 $\pm$ 9.7 ^{ef}	46 $\pm$ 2.62 ^d	113.9 $\pm$ 6.3 ^{ef}	3.1 $\pm$ 0.2 ^{bc}
<i>Tectona grandis</i>	612.5 $\pm$ 34.8 ^h	268.8 $\pm$ 15.3 ^h	45.2 $\pm$ 2.87 ^d	236.9 $\pm$ 9.1 ⁱ	2.7 $\pm$ 0.3 ^b
<i>Vitex peduncularis</i>	175.7 $\pm$ 14.7 ^{ab}	77.1 $\pm$ 6.5 ^{ab}	29.9 $\pm$ 3.13 ^{ab}	86.6 $\pm$ 7.00 ^{cd}	2.3 $\pm$ 0.2 ^{ab}
<i>Sindora siamensis</i>	518.1 $\pm$ 27.0 ^g	227.4 $\pm$ 11.9 ^g	43.4 $\pm$ 2.63 ^{cd}	182.5 $\pm$ 9.4 ^g	2.9 $\pm$ 0.1 ^b
<i>Xylixyclocarpa</i> var. <i>kerrii</i>	154.8 $\pm$ 12.5 ^a	67.9 $\pm$ 5.5 ^a	41.3 $\pm$ 3.02 ^{cd}	48.2 $\pm$ 2.4 ^a	3.8 $\pm$ 0.4 ^{cd}
<i>Butea monosperma</i>	397.4 $\pm$ 24.5 ^f	174.4 $\pm$ 10.8 ^f	30.8 $\pm$ 2.45 ^{ab}	200.7 $\pm$ 10.00 ^h	2.3 $\pm$ 0.2 ^{ab}
<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	240.5 $\pm$ 17.7 ^{cd}	105.6 $\pm$ 7.8 ^{cd}	45.6 $\pm$ 2.68 ^d	66.6 $\pm$ 4.1 ^b	3.8 $\pm$ 0.2 ^{cd}
<i>Dalbergia oliveri</i>	307.4 $\pm$ 18.6 ^e	134.9 $\pm$ 8.2 ^e	41.3 $\pm$ 2.63 ^{cd}	84.8 $\pm$ 6.3 ^{bcd}	5.4 $\pm$ 0.8 ^f
<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	178.9 $\pm$ 12.6 ^{ab}	78.5 $\pm$ 5.6 ^{ab}	24.2 $\pm$ 2.08 ^a	82.7 $\pm$ 5.00 ^{bcd}	2.2 $\pm$ 0.1 ^{ab}
<i>Lagerstroemia calyculata</i>	293.3 $\pm$ 11.4 ^{de}	128.7 $\pm$ 5.0 ^{de}	35.6 $\pm$ 1.84 ^{bc}	175.2 $\pm$ 4.3 ^g	1.7 $\pm$ 0.1 ^a
<i>Lagerstroemia floribunda</i>	224.2 $\pm$ 20.3 ^{bc}	98.4 $\pm$ 8.9 ^{bc}	30.7 $\pm$ 2.69 ^{ab}	96.9 $\pm$ 4.7 ^{de}	2.2 $\pm$ 0.1 ^{ab}
<i>Lagerstroemia loudonii</i>	312.6 $\pm$ 16.6 ^e	137.2 $\pm$ 7.3 ^e	28.3 $\pm$ 2.46 ^{ab}	71.3 $\pm$ 3.6 ^{ab}	4.7 $\pm$ 0.3 ^f
<i>Chukrasia velutina</i>	378.6 $\pm$ 18.8 ^f	166.2 $\pm$ 8.3 ^f	40.6 $\pm$ 2.32 ^{cd}	92.6 $\pm$ 4.6 ^d	4.2 $\pm$ 0.2 ^{de}
Mean	133.1 $\pm$ 2.8	35.1 $\pm$ 0.71	117 $\pm$ 2.17	118.27 $\pm$ 2.3	3.0 $\pm$ 0.1

อิทธิพลของแสงต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

แสงเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยทั่วไปการสังเคราะห์แสงและความเข้มแสงมีความสัมพันธ์ในรูปแบบที่มิใช่เส้นตรง โดยที่การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงที่เป็นประโยชน์ต่อต้นไม้เพิ่มขึ้น ความเข้มแสง ณ จุดที่ทำให้การ

สังเคราะห์แสงอยู่ในภาวะสมดุล (อัตราการสังเคราะห์แสงเท่ากับอัตราการหายใจ) เรียกว่า light compensation point (LCP) หลังจากนั้นการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อัตราการเพิ่มขึ้น (initial slope) จะขึ้นอยู่กับศักยภาพในการใช้แสงที่ความเข้มแสงต่ำ หรือที่เรียกว่า quantum yield of photosynthesis (ϕ) จนถึงความเข้มแสงระดับหนึ่งที่ทำให้การสังเคราะห์แสงมีค่าสูงสุด (light-saturated gross photosynthesis, A_{sat}) เรียกความเข้มแสงระดับนี้ว่า จุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point) ภายหลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์จะเริ่มคงที่ถึงแม้ว่าความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นก็ตาม จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์แสงและความเข้มแสงตามรูปแบบสมการ asymptotic exponential ของ Boote and Loomis (1991) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์แสงและความเข้มแสงของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณทั้ง 14 ชนิด มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$, Table 5, Figure 2a) ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ใกล้เคียงกับพรรณไม้ป่าเต็งรัง (สาพิศ และคณะ, 2546) และพรรณไม้ชนิดอื่นๆ ที่มีผู้รายงานไว้ (กลาวัณย์, 2545; สาพิศ, 2545; Eschenbach *et. al.*, 1998; Chaisalee, 2000)

Table 5 Coefficients of the photosynthetic light response curve of 14 mixed deciduous forest tree species. The correlation was fitted by the asymptotic exponential equation (Boote and Loomis, 1991).

Species	A_{sat} $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	ϕ	PPFD $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	R_d $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	LCP $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	r^2	p- value
<i>Homalium tomentosum</i>	9.12	0.063	600	1.14	19	0.86	<0.0001
<i>Irvingia malayana</i>	10.46	0.053	750	1.44	29	0.44	<0.0001
<i>Tectona grandis</i>	26.41	0.024	>1500	0.19	8	0.84	<0.0001
<i>Vitex peduncularis</i>	9.72	0.044	1000	1.46	36	0.76	<0.0001
<i>Sindora siamensis</i>	17.15	0.046	1400	2.08	48	0.69	<0.0001
<i>Xylia xylocarpa</i> var. <i>kerrii</i>	6.78	0.024	1000	0.98	43	0.54	<0.0001
<i>Butea monosperma</i>	14.54	0.045	1200	0.46	10	0.76	<0.0001
<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	9.13	0.024	1200	0.58	25	0.57	<0.0001
<i>Dalbergia oliveri</i>	12.92	0.035	1200	1.45	44	0.82	<0.0001
<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	10.40	0.019	>1500	0.33	18	0.76	<0.0001
<i>Lagerstroemia calyculata</i>	9.91	0.030	1300	0.98	35	0.8	<0.0001
<i>Lagerstroemia floribunda</i>	16.21	0.050	>1500	1.32	27	0.94	<0.0001
<i>Lagerstroemia loudonii</i>	10.82	0.070	700	0.67	10	0.79	<0.0001
<i>Chukrasia velutina</i>	12.64	0.087	600	1.26	15	0.78	<0.0001

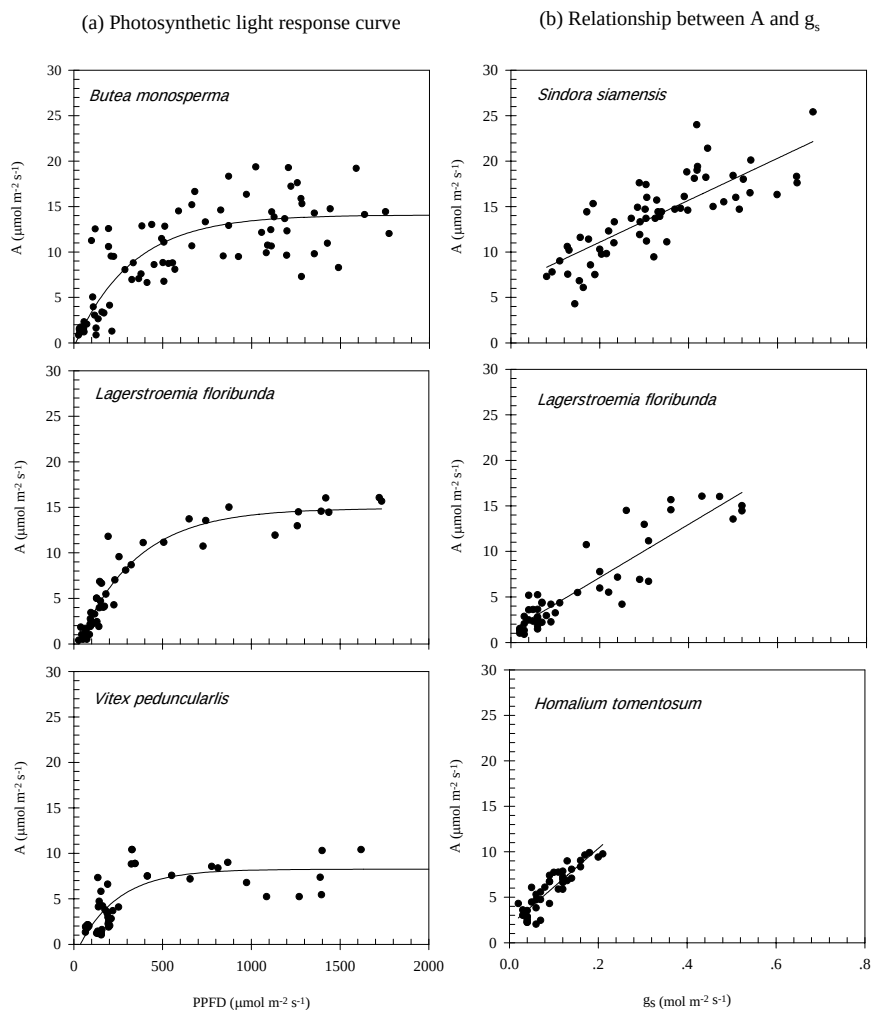


Figure 2 Photosynthetic light response curve fitted by asymptotic exponential equation (a) and the relationship between net photosynthesis (A) and stomatal conductance (g_s) fitted by simple linear regression (b) of some mixed deciduous forest tree species.

จากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสัมพัทธ์ดังกล่าว เช่น ค่า LCP ค่า quantum yield การสังเคราะห์แสงสูงสุด และจุดอิ่มตัวของแสง ที่ได้จากการมีความผันแปรค่อนข้างสูง (Table 5) การสังเคราะห์แสงสูงสุดมีความผันแปรระหว่าง $9-26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ โดยพบว่าไม้สักมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมากกว่า $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ซึ่งใกล้เคียงกับพรรณไม้โตเร็วจากประเทศออสเตรเลีย (สาพิศ, 2545ข) อย่างไรก็ตาม พรรณไม้ที่ศึกษาส่วนใหญ่ มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับพรรณไม้ป่าพื้นเมืองเขตร้อนชนิดอื่นๆ ที่เคยมีผู้รายงานไว้ (ลดาวัดย์, 2544; Eschenbach *et. al.*, 1998; Chaisalee, 2000)

พรรณไม้ป่าเบญจพรรณที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่า quantum yield ซึ่งเป็นค่า initial slope ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้แสงที่ระดับความเข้มแสงต่ำ ค่อนข้างต่ำ (0.02 -0.05) แต่มี

จุดอิ่มตัวของแสงมากกว่า $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Table 5) ซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสงอิ่มตัวของพรรณไม้ในเขตร้อนทั่วไปจากการศึกษาที่ผ่านมาที่มีค่าไม่เกิน $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ หรือเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณความเข้มแสงที่ได้รับเต็มที่ (ลดาวัลย์, 2544; ศาพิศ, 2545ข; ศาพิศ และคณะ, 2546; Larcher, 1995) มีเพียงพรรณไม้ 4 ชนิด ได้แก่ ขมิ้น อินทรีชิต ขานาง และกระบก ที่มีค่า quantum yield มากกว่า 0.05 และจุดอิ่มตัวของแสงน้อยกว่า $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ โดยทั่วไปพรรณไม้ที่ต้องการแสงจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดและจุดอิ่มตัวของแสงสูงกว่าไม้ทนร่ม แต่ค่า quantum yield ต่ำกว่าพรรณไม้ทนร่ม (Björkman, 1981; Eschenbach *et. al.*, 1998) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพรรณไม้ป่าเบญจพรรณที่ศึกษาส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่ว่าเป็นพรรณไม้ที่ต้องการแสงแต่มีเพียง 4 ชนิด ที่กล่าวข้างต้นที่มีแนวโน้มน่าจะเป็นพรรณไม้ทนร่ม

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการหายใจในที่มืด และค่า LCP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีความผันแปรค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มระหว่างชนิดพรรณไม้ที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์แสงและความเข้มแสงดังกล่าวได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลการสังเคราะห์แสงในรอบวันในภาคสนาม ซึ่งอาจจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ นอกเหนือจากความเข้มแสง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความแตกต่างของความดันไอระหว่างใบและอากาศ เป็นต้น

อิทธิพลของปากใบต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปากใบเป็นทางผ่านเข้าออกของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำสำหรับกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของพืช ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสงและคายน้ำของพืช จากการศึกษาความผันแปรในรอบวันพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบ (Figure 1) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองปัจจัยพบว่าการสังเคราะห์แสงสุทธิของพรรณไม้ทั้ง 14 ชนิด มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) กับค่าการชักนำการเปิด-ปิดของปากใบ กล่าวคือเมื่อค่าชักนำการเปิด-ปิดของปากใบเพิ่มขึ้นการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นด้วย (Figure 2b) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความชัดเจนในพรรณไม้หลายชนิด เช่น แดง กาสามปึก ตะแบกนา และกระบก สังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ที่ค่อนข้างสูง (Table 6) ลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกของอัตราการสังเคราะห์แสงและค่าชักนำการเปิด-ปิดของปากใบดังกล่าวนี้คล้ายกับผลการศึกษาในพรรณไม้ป่าเต็งรัง (ศาพิศ และคณะ, 2546) อย่างไรก็ตาม Royampaeng (2001) พบว่าการสังเคราะห์แสงและค่าชักนำการเปิด-ปิดของปากใบในไม้โตเร็วต่างประเทศบางชนิดมีความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้นตรง (non-linear regression) เมื่อค่าชักนำการเปิด-ปิดของปากใบสูงกว่า $0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปิด-ปิดของปากใบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงมีความสำคัญลดลงเมื่อปากใบเปิดกว้าง

Table 5 Coefficients of the relationship between net photosynthesis (A) and stomatal conductance (g_s) of 14 mixed deciduous forest tree species. The correlation was fitted by simple linear regression, $y = y_0 + ax$

Species	y_0	A	r^2	p- value
<i>Homalium tomentosum</i>	1.87	42.44	0.793	<0.0001
<i>Irvingia malayana</i>	2.51	38.9	0.771	<0.0001
<i>Tectona grandis</i>	6.94	15.48	0.198	<0.0001
<i>Vitex peduncularis</i>	1.32	37.33	0.880	<0.0001
<i>Sindora siamensis</i>	6.46	23.07	0.627	<0.0001
<i>Xylia xylocarpa</i> var. <i>kerrii</i>	1.19	45.1	0.900	<0.0001
<i>Butea monosperma</i>	5.14	15.37	0.476	<0.0001
<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	1.68	54.54	0.711	0.0004
<i>Dalbergia oliveri</i>	3.67	29.21	0.674	<0.0001
<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	2.81	21.2	0.757	<0.0001
<i>Lagerstroemia calyculata</i>	4.84	9.06	0.317	<0.0001
<i>Lagerstroemia floribunda</i>	1.29	29.19	0.831	0.0055
<i>Lagerstroemia loudonii</i>	6.09	27.64	0.152	<0.0001
<i>Chukrasia velutina</i>	-0.47	66.11	0.764	<0.0001

สรุปและข้อเสนอแนะ

รูปแบบของการดูดซึมน้ำของพืชคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณทั้ง 14 ชนิด มีความผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของพรรณไม้และปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละวัน และประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของพืชคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ที่ศึกษา มีความผันแปรค่อนข้างสูง โดยที่ไม้สักเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของพืชคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ในขณะที่ไม้แดงเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของพืชคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบว่าพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของพืชคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะมีการคายน้ำสูงทำให้มีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำ แต่ก็มีพรรณไม้หลายชนิด เช่น ชิงชัน อินทรี และยมหิน มีประสิทธิภาพการใช้น้ำค่อนข้างสูงจึงมีแนวโน้มว่าจะเป็นพรรณไม้ที่ทนแล้งได้ดี นอกจากนี้ยมหินยังมีประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของพืชคาร์บอนไดออกไซด์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพรรณไม้ป่าเบญจพรรณชนิดอื่นๆ ที่ศึกษาในครั้งนี้ จึงเป็นพรรณไม้ที่น่าจะนำไปปลูกเพื่อช่วยดูดซึมน้ำของพืชคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่แห้งแล้ง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการศึกษารุ่นนี้เป็นเพียงค่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ผิวใบ แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยรวมของป่าชนิดหนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้เด่นในป่านั้นๆ เนื่องจากมีความหนาแน่นต่อหน่วยพื้นที่มากกว่า ซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้แต่ละต้นขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น พื้นที่ใบรวม (total leaf area) ลักษณะโครงสร้างของเรือนยอด (canopy structure) และดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ควรคู่กับการศึกษาลักษณะโครงสร้างของสังคมพืช น่าจะช่วยให้การประมาณค่าการเก็บกักคาร์บอนของป่าประเภทต่างๆ มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

คำนิยาม

การศึกษาดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าชนิดต่างๆ นี้ เป็นกิจกรรมหนึ่งภายใต้ “โครงการวิจัยการเก็บกักและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางภาคป่าไม้ของไทย” คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณชิตี วิสารัตน์ และเจ้าหน้าที่ประจำสถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

- ลดาวัลย์ พวงจิตร. 2544. คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณชีวมวลของพรรณไม้ในเขตร้อนภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 39 น.
- สาพิศ ร้อยอำแพง. 2545ก. การเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของลูกผสมไม้กระถินณรงค์และไม้กระถินเทพา, หน้า 370-382. ใน รายงานการประชุมทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 7 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 12-14 ธ.ค. 2545. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- สาพิศ ร้อยอำแพง. 2545ข. ลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดและความผันแปรของคุณสมบัติของใบที่อยู่ในเรือนยอดของลูกผสมตามธรรมชาติของกระถินเทพาและกระถินณรงค์, หน้า 174-191. ใน รายงานวนวัฒนวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2545. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ภาณุมาศ ลาตपाल, เจษฎา เหลืองแจ่ม และวีรยุทธ กุลพรพันธ์. 2546. ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเต็งรัง. เอกสารเผยแพร่. ฝ่ายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

- Andrews, T.J. and G.J. Muller. 1985. Photosynthetic gas exchange of mangrove, *Rhizophora stylosa* Griff., in its natural environment. *Oecologia* (Berlin) 65: 449-455.
- Björkman, O. 1981. Responses to different quantum flux densities, pp. 57-108. *In* Physiological Plant Ecology. I. Response to the Physical Environment, O.L. Lang, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Zeigler (eds.). Encyclopedia of Plant Physiology New Series Vol. 12A. Springer-Verlag, Berlin.
- Boardman, N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28: 355-377.
- Boote, K. J. and R.S. Loomis 1991. The prediction of canopy assimilation, pp.109-139. *In* Modeling Crop Photosynthesis from Biochemistry to Canopy, K.J. Boote and R. Loomis (eds.). CSSA Special Publication No. 19. CSSA, Madison.
- Chaisalee, N. 2000. Leaf Morphology, Gas Exchange Characteristics and Water Deficit Responses of Four Tropical Tree Species. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok.
- Cole, S. P. 1994. Field and Laboratory Studies on Growth and Photosynthesis of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. in the Northern Territory of Australia. Ph.D. Thesis. Northern Territory University, Australia.
- Cowan, I. R. 1982. Regulation of water use in relation to carbon gain in higher plants, pp.589-613. *In*: Physiological Plant Ecology. II. Water Relations and carbon Assimilation, O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler, (eds.). Encyclopedia of Plant Physiology New Series Vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.
- Eschanbach, C., R. Glauner, M. Kleine and L. Kappen. 1998. Photosynthesis rates of selected tree species in low land dipterocarp rainforest of Sabah, Malaysia. *Trees* 12: 356-365.
- Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski. 1979. Physiology of Woody Plants. Academic Press, New York. 811 p.
- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer-Verlag, Berlin.
- Office of Environmental Policy and Planning OEPP. 2000. Thailand's National Greenhouse Gas Inventory 1994. Ministry of Science, Technology and Environment. Bangkok. 118 p.
- Royampaeng, S. 2001. Physiology of Intraspecific and Interspecific hybrids of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. Ph.D. Thesis. Northern Territory University, Australia.

Schulze, E.-D. and A.E. Hall. 1982. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments, pp. 181-230. *In* Physiological Plant Ecology. II. Water Relations and Carbon Assimilation, O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler, (eds.). Encyclopedia of Plant Physiology New Series Vol.12B. Springer-Verlag, Berlin.
