

การเปิดปากใบในรอบวันของพรรณไม้ที่ตอบสนองต่อ
สภาพอากาศในเขตเมือง บริเวณอุทยาน 100 ปี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Diurnal Stomatal Conductance of Tree Species Responding to
Urban Environments at the Chulalongkorn University
Centenary Park

ณัฐชิตา พรหมจวง และนิตา เหล็กสูงเนิน*

ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตบางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

พันธนา ตอเงิน

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Nattita Phromjuang and Nisa Leksungnoen*

Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University,

Bangkheng Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Pantana Tor-ngern

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University,

Phayathai Road, Wang Mai, Pathumwan, Bangkok 10330

Received: March 6, 2019; Accepted: April 5, 2019

บทคัดย่อ

สภาพแวดล้อมในเขตเมืองส่งผลให้พืชมีการตอบสนองแตกต่างจากพืชในถิ่นอาศัยเดิม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปิด-ปิดปากใบในรอบวันที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศในเขตเมือง ณ อุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยคัดเลือกพรรณไม้ที่มีดัชนีค่าความสำคัญมากที่สุด 5 อันดับ คือ พะยุง (*Dalbergia cochinchinensis*) ป๊อบ (*Millingtonia hortensis*) ชมพูพันธุ์ทิพย์ (*Tabebuia rosea*) จามจุรี (*Samanea saman*) และยางนา (*Dipterocarpus alatus*) ตามลำดับ วัดค่าการชักนำการเปิดปากใบทุก 2 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 07:00-17:00 น. ในฤดูแล้ง (เมษายน-พฤษภาคม) และในฤดูฝน (สิงหาคม-กันยายน) โดยวัดซ้ำ 3 วัน ในแต่ละฤดูกาล ผลการวิจัยพบว่าการเปิดปากใบของพรรณไม้ทุกชนิดจะคล้ายคลึงกันทั้ง 2 ฤดู โดยปากใบจะเปิดมากในช่วงเช้าและลดลงในช่วงบ่าย และมีการเปิดปากใบในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้งอย่างมี

นัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.0001$) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการชักนำการเปิดปากใบกับค่าความแตกต่างของไอน้ำระหว่างใบและอากาศ (leaf-to-air vapor pressure deficit, LAVPD) ของพรรณไม้ส่วนใหญ่เป็นไปในทางผกผันเชิงเส้น กล่าวคือ ปากใบจะปิดเมื่อมีแรงดึงการคายน้ำสูง โดยความชันของเส้นความสัมพันธ์ของพรรณไม้แต่ละชนิดในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.0001$) ในฤดูแล้ง ค่า LAVPD สูงกว่าฤดูฝน อย่างไรก็ตาม ในฤดูฝน พบเส้นความชันเป็นในเชิงบวกในไม้เกือบทุกชนิด ยกเว้นยางนาที่พบว่าค่า LAVPD ไม่มีความสัมพันธ์กับการเปิดปิดปากใบ การศึกษานี้เหมาะสำหรับคัดเลือกพรรณไม้มาปลูกในสภาพอากาศเขตเมือง ควรเลือกชนิดที่มีการตอบสนองต่อสภาพอากาศและการปรับตัวได้ดี เพื่อการให้บริการทางสิ่งแวดล้อมได้ดี

คำสำคัญ : การเปิดปิดปากใบในรอบวัน; ความแตกต่างของไอน้ำระหว่างใบและอากาศ; ไม้ในเขตเมือง

Abstract

Urban environments are different from those in native habitats of tree species resulting in the different responses to those conditions. This study focused on characterizing the responses of tree species to urban environments at the Chulalongkorn University Centenary Park by measuring leaf stomatal conductance of five tree species with the most important value index species (IVI) including *Dalbergia cochinchinensis*, *Millingtonia hortensis*, *Tabebuia rosea*, *Samanea saman*, and *Dipterocarpus alatus*. The stomatal conductance was measured every 2 hours from 07:00 am to 05:00 pm in the dry season (April-May, 2018) and the rainy season (August-September, 2018), each with three replicates (days). The diurnal patterns of stomatal conductance of all species were similar in both seasons, increasing in the early morning and gradually decreasing in the afternoon. Stomatal conductance in the rainy season was significantly higher than that in the summer season ($p < 0.0001$). In most species, the relationships between the stomatal conductance and leaf-to-air vapor pressure deficit (LAVPD) were inversely linear, indicating stomatal closure at high transpirational gradients. The slope of the linear relationship in each species was significantly different across seasons ($p < 0.0001$). LAVPD value in the summer season was higher than that in the rainy season, resulting in steeper slopes in *S. saman*, *D. cochinchinensis* and *M. hortensis*. However, in the rainy season, the slopes were positive in all species, except *D. cochinchinensis* which had no relationship between LAVPD and stomatal conductance. This study is suitable for the selection of plants to be planted in urban environments. It is suggested to select the type that has a good response and adaptation for good ecosystem service.

Keywords: diurnal stomatal conductance; leaf-to-air vapor pressure deficit; urban tree

1. คำนำ

การเปิด-ปิดปากใบของพืชเป็นกระบวนการที่สำคัญในการสร้างอาหารของพืช เกิดขึ้นที่ปากใบ (stomata) ซึ่งทำหน้าที่หลักในการแลกเปลี่ยนก๊าซ

โดยรับคาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาเพื่อสร้างอาหาร และในขณะเดียวกันเกิดการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ ซึ่งพืชจะควบคุมระดับน้ำภายในต้นพืชผ่านทางปากใบ เพื่อให้เกิดความ

สมดุล และส่งเสริมการเติบโตให้เป็นปกติ โดยค่าการชักนำการเปิดปากใบ (stomatal conductance) เกิดจากปัจจัยภายในพืชเอง และปัจจัยภายนอก โดยปัจจัยภายใน เช่น ชนิดของพรรณไม้เอง โดยพรรณไม้ไม่ปากใบแล้งที่ไม่ผลัดใบจะมีค่าชักนำการเปิดปากใบและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่า ชนิดชนิดที่ผลัดใบ (Choat *et al.*, 2005; Ishida *et al.*, 2006; Tor-ngern and Puangchit, 2018) จำนวนของปากใบที่มากจะส่งผลให้มีการชักนำการเปิดปากใบที่มาก อีกทั้งอายุของใบที่มากและใกล้ร่วงส่งผลให้การเปิดปากใบจะลดลง (Salisbury and Ross, 1985) และปัจจัยภายนอก ได้แก่ น้ำ ซึ่งมีส่วนควบคุมการเปิดปากใบ ถ้าในใบพืชมีน้ำมาก การแพร่เข้าสู่เซลล์คุมมากทำให้แรงดันเต่งเพิ่มขึ้น ปากใบจะเปิด เมื่อพืชขาดน้ำเซลล์คุมจะสูญเสียแรงดันเต่งปากใบจะปิด การควบคุมนี้เป็นผลมาจากพลังงานศักย์ของน้ำ (water potential) ในใบ ถ้ามีค่าติดลบปากใบจะปิดทำให้พืชปลอดภัยจากการสูญเสียน้ำในสภาวะขาดแคลนน้ำ (วิไลภรณ์, 2556) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์ (intercellular carbon dioxide, C_i) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการเปิดของปากใบ ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์ต่ำเพราะถูกดึงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปากใบจะเปิด ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์มากปากใบจะปิด (William, 1995) อุณหภูมิใบที่สูงเกินไปทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงน้ำจะระเหยออกจากปากใบเพิ่มขึ้นพืชจะปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสีย น้ำ นอกจากนี้ปากใบจะเปิดเมื่อมีแสงและปิดเมื่ออยู่ในที่มืด โดยเซลล์คุมของปากใบที่ได้รับแสงที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เซลล์เต่งปากใบพืชเปิด สารควบคุมการเติบโต เช่น กรดแอบไซซิก (abscisic acid, ABA) จะผลิตขึ้นที่รากในกรณีที่พืชขาดน้ำและส่งไปที่ปากใบ ทำให้ปากใบปิดเพื่อป้องกันอันตรายจากสภาพแล้ง ซึ่งเกิดการตอบสนองที่

รวดเร็วและเมื่อพืชได้รับน้ำจะหยุดสร้างกรดนี้ทันที และปากใบพืชจะเปิด (วิไลภรณ์, 2556)

บริเวณเขตเมืองสภาวะอากาศที่เป็นพิษจากปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่มาก เนื่องจากการอยู่อาศัยและการจราจรที่แออัด นอกจากนี้ยังมีปัญหาในเรื่องความร้อนที่แผ่ลงมาจากรังสีดวงอาทิตย์และสะท้อนกลับไปมาภายในอาคารและสิ่งก่อสร้างในเมืองก่อให้เกิดปรากฏการณ์เกาะแห่งความร้อน นำไปสู่สภาวะเครียดของต้นไม้ในเขตเมือง ซึ่งอุทยาน 100 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นสวนสาธารณะที่ตั้งอยู่ใจกลางกรุงเทพมหานคร และบริเวณโดยรอบประกอบด้วยชุมชนและการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่แออัดซึ่งสามารถเป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมเขตเมืองในการศึกษาครั้งนี้ โดย Kjelgren และคณะ (2013) ศึกษาความสัมพันธ์ในการใช้น้ำและการตอบสนองต่อความแห้งแล้งของพืชเขตร้อนในเขตเมืองที่บริเวณริมทางของกรุงเทพมหานคร ในพืช 3 ชนิด คือ *Pterocarpus indicus*, *Swietenia macrophylla* และ *Lagerstroemia loudonii* พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด มีอัตราการเปิดปากใบ การคายน้ำ และการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เพื่อชะลอการดูดน้ำของรากใต้ดินเมื่ออยู่ในเขตเมือง การใช้น้ำของพืชมีความสัมพันธ์กับศักย์ของน้ำในดินกับพืชและศักย์ของน้ำในพืชกับปากใบ ถ้ามีความต่างศักย์ระหว่างความชื้นในบรรยากาศกับน้ำในใบมากจะทำให้เกิดการคายน้ำและสูญเสียน้ำมาก เมื่อพืชขาดน้ำพืชจะลดการใช้น้ำลง จนเมื่อศักย์ของน้ำในดินลดน้อยลงถึงจุดที่พืชดึงไปใช้ได้น้อยปากใบจะค่อย ๆ ปิด เพื่อลดการสูญเสียน้ำ โดยสภาพอากาศเป็นแรงขับให้พืชเกิดการคายน้ำออกจากปากใบ สภาพอากาศต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีผลต่อการเปิด-ปิดปากใบของพืช (สุนทรี่, 2535) รวมถึงความเข้มแสง ก็ส่งผลต่อการปิดปากใบพืช จากการศึกษาการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ของพันธุ์ไม้ยืนต้นที่ปลูกริมถนน พบว่าค่าความเข้มแสงที่สูงส่งผลให้ระดับอุณหภูมิในใบสูง พืชจะลดการสูญเสียน้ำโดยการปิดปากใบ ซึ่งลดการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ อันเป็นวัตถุประสงค์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำ (ทศวรรณ, 2548)

สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในแต่ละฤดูกาลและแม้แต่ในรายวันซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปิดของปากใบ การเปิดของปากใบในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (วัลยา, 2543) การศึกษาการตอบสนองของต้นไม้ในเขตเมืองในรอบวันนั้นยังมีอยู่ไม่มาก จึงเป็นที่มาของการศึกษาการเปิดปากใบในรอบวันของพรรณไม้ที่ตอบสนองต่อสภาวะอากาศในเขตเมืองบริเวณอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในแต่ละฤดูกาล โดยนำข้อมูลที่ได้มาบริหารจัดการเกี่ยวกับประสิทธิภาพการให้น้ำแก่พืชในสวนเพื่อเป็นประโยชน์ต่อทางสวน และใช้ในการแนะนำและจัดการทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

อุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งอยู่บริเวณซอยจุฬาลงกรณ์ 5 ระหว่างซอยจุฬาลงกรณ์ 9 กับถนนบรรทัดทอง ในพื้นที่สวนหลวง-สามย่าน เชื่อมต่อกับแนวแกนกลางของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีเนื้อที่ประมาณ 28 ไร่ ลักษณะสภาพอากาศของพื้นที่ในรอบ 1 ปี (เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561) จากข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศสามารถสรุปสภาพภูมิอากาศทั่วไปดังแสดงใน Figure 1

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความต่างของความดันไอน้ำ (vapor pressure deficit) เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 28.9 องศาเซลเซียส ร้อยละ 84

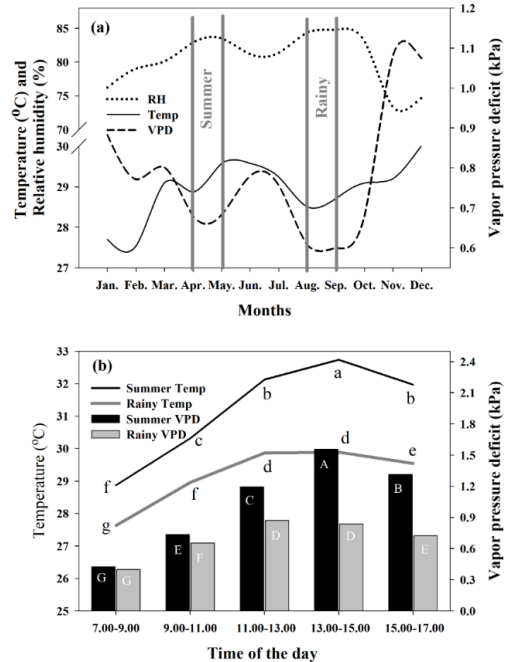


Figure 1 (a) Monthly weather at Chulalongkorn Century Park in 2018. Temperature (Temp, °C), relative humidity (RH, %), and vapor pressure deficit (VPD, kPa) are represented by dotted, solid, and short-dash lines, respectively. The grey-vertical solid line represented the duration of data measurements in the summer (April to May) and the rainy (August to September) season. (b) Average temperature (lines) and vapor pressure deficit (VPD; bars) over the period of the day in 2-hour interval from 7 am to 5 pm at Chulalongkorn University Centenary Park. Different letters above each line and each bar represent statistical difference among the mean temperature and vapor pressure deficit of 5 species and 2 seasons at the significant level of 0.05.

และ 0.64 กิโลปาสกาล ตามลำดับ โดยช่วงฤดูแล้ง ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความต่างของความดันไอน้ำเท่ากับ 29.2 องศาเซลเซียส ร้อยละ 83 และ 0.68 กิโลปาสกาล ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความต่างของความดันไอน้ำเท่ากับ 28.6 องศาเซลเซียส ร้อยละ 85 และ 0.60 กิโลปาสกาล ตามลำดับ

2.2 การสำรวจพรรณไม้ในพื้นที่

สำรวจพรรณไม้ทุกต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมากกว่า 4.5 เซนติเมตร ในบริเวณอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบพรรณไม้ทั้งสิ้น 46 ชนิด จำนวน 698 ต้น (สำรวจ ณ วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2561) จากนั้นคำนวณค่าดัชนีความสำคัญของพรรณพืช (important value index, IVI) โดยเป็นค่ารวมของความหนาแน่นและพื้นที่หน้าตัดของพรรณไม้แต่ละชนิด มีผลรวมของทุกชนิดเท่ากับ 200 โดยค่าดัชนีความสำคัญของชนิดพรรณ A สามารถหาได้จากสมการ $IVI_A = RD_A + RDo_A$ (อุทิส, 2542) โดยที่ RD_A คือ ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของชนิดพรรณ A และ RDo_A คือค่าความเด่นสัมพัทธ์ของชนิดพรรณ A โดยพรรณไม้ที่มีความเด่นสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ พะยุง (*Dalbergia cochinchinensis*) ปีบ (*Millingtonia hortensis*) ชมพูพันธุ์ทิพย์ (*Tabebuia rosea*) จามจุรี (*Samanea saman*) และยางนา (*Dipterocarpus alatus*) ซึ่งมีค่าดัชนีความสำคัญ ร้อยละ 41.02, 22.17, 21.05, 17.04 และ 11.55 ตามลำดับ ซึ่งรวมทั้ง 5 ชนิด แล้วมีค่าดัชนีความสำคัญมากเกินครึ่งหนึ่งของผลรวมค่าความสำคัญ (ร้อยละ 56) ดังนั้นจึงเลือกพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด เป็นตัวแทนในการศึกษาการตอบสนองของพรรณไม้ต่อสภาพอากาศในรอบวัน

2.3 การวัดค่าการชักนำการเปิดปากใบในรอบวันในแต่ละฤดูกาล

พรรณไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ พะยุง ปีบ ชมพูพันธุ์ทิพย์ จามจุรี และยางนา นำมาศึกษาชักนำการเปิดปากใบ โดยสุ่มเลือกตัวอย่างต้นไม้ที่มีความสมบูรณ์ ชนิดละ 5 ต้น และในแต่ละต้นสุ่มตัวอย่างใบที่โตเต็มที่ ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป เป็นใบที่สมบูรณ์ ไม่มีร่องรอยเข้าทำลายของโรคหรือแมลง เป็นใบในคูที่ 2 หรือ 3 จากยอด จำนวน 3 ใบ เพื่อวัดค่าการชักนำการเปิดปากใบด้วยเครื่อง leaf porometer (รุ่น SC-1 ยี่ห้อ Decagon Device, USA.) พร้อม ๆ กับการวัดอุณหภูมิใบด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (infrared thermometer รุ่น LEGA LT-760GX) โดยวัดทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 07:00 ถึง 17:00 น. เพื่อศึกษาการตอบสนองในรอบวันโดยสุ่ม จำนวน 3 วัน ใน 2 ฤดูกาล คือ ฤดูแล้งในช่วงเดือน เมษายน-พฤษภาคม และฤดูฝนในช่วงเดือน สิงหาคม-กันยายน เพื่อเป็นตัวแทนของการศึกษาในรอบปี

2.4 การวัดค่าสภาพอากาศในเขตเมือง

ข้อมูลสภาพแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ศึกษามาจากสถานีตรวจวัดอากาศที่ติดตั้งภายในบริเวณอุทยานฯ โดยการเก็บข้อมูลอัตโนมัติของอุณหภูมิและความชื้นในอากาศทุก ๆ 10 นาที เพื่อนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของไอน้ำระหว่างใบและอากาศ (leaf-to-air vapor pressure deficit, LAVPD) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความจำเพาะของแรงดึงน้ำในอากาศและใบพืชแต่ละชนิด เนื่องจากการคำนวณแรงดันไอน้ำในใบ (vapor pressure in a leaf, e_{leaf}) ที่ได้จากการวัดอุณหภูมิใบ และแรงดันไอน้ำในอากาศ (vapor pressure in the air, e_{air}) โดยค่า LAVPD ที่มีค่ามาก หมายถึง ความแตกต่างระหว่างปริมาณไอน้ำในใบและอากาศมีค่าสูง ส่งผลโดยตรงต่อการเปิดปากใบเพื่อคายน้ำ เนื่องจากมีความแตกต่างของไอน้ำสูง โดยการคำนวณอธิบายได้ดังนี้ (Buck, 1981)

LAVPD = $e_{\text{leaf}} - e_{\text{air}}$ หน่วย กิโลปาสกาล
โดย e_{leaf} = แรงแต้นไอน้ำในใบ หน่วย กิโลปาสกาล
 e_{air} = แรงแต้นไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริงในขณะนั้น
หน่วย กิโลปาสกาล

แรงแต้นไอน้ำในใบ (e_{leaf}) คำนวณได้จาก
สมการ $e_{\text{leaf}} = 0.61121 \exp \left[\frac{17.502 T}{240.97 + T} \right]$ หน่วย กิโล
ปาสกาล โดย T คือ อุณหภูมิใบ หน่วย องศา
เซลเซียส และแรงแต้นไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริงใน
ขณะนั้น (e_{air})

$e_{\text{air}} = 0.61121 \exp \left[\frac{17.502 T}{240.97 + T} \right] \times \text{RH}$
หน่วย กิโลปาสกาล โดย T คือ อุณหภูมิอากาศ
หน่วย องศาเซลเซียส และ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์
ในอากาศ (relative humidity) หน่วย %

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 วิเคราะห์ค่าการชักนำการเปิดปากใบ
เฉลี่ยในภาพรวมของพรรณไม้แต่ละชนิดในแต่ละ
ฤดูกาล โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี two-way
ANOVA โดยมีปัจจัยหลัก ได้แก่ ชนิดพรรณไม้
(5ชนิด) และฤดูกาล (2 ฤดูกาล) และวิเคราะห์ความ
แตกต่างรายคู่ ด้วยวิธี least squared method
(LSD) (Figure 2)

3.2 วิเคราะห์ค่าการชักนำการเปิดปากใบใน
แต่ละช่วงเวลาในรอบวันของพืชแต่ละชนิด ในแต่ละ
ฤดูกาล โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี two-way
ANOVA โดยมีปัจจัยหลัก ได้แก่ ชนิดพรรณ (5
ชนิด) และช่วงเวลาในรอบวัน (5 ช่วงเวลา) และ
วิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ ด้วยวิธี least squared
method (LSD) จากนั้นนำค่าในแต่ละช่วงเวลาของ
แต่ละฤดูกาลมาทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี t-test
(Table 1)

3.3 คำนวณความชัน (slope) ของสมการ
เส้นตรง (linear regression) ระหว่างความแตกต่าง
ของไอน้ำระหว่างใบและอากาศ (LAVPD: แกน X)
และค่าชักนำการเปิดปากใบ (stomatal conduc-

tance: แกน Y) ระหว่างฤดูกาลของพรรณไม้แต่ละ
ชนิด เพื่อดูแนวโน้มการตอบสนองของปากใบต่อ
สภาพแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา

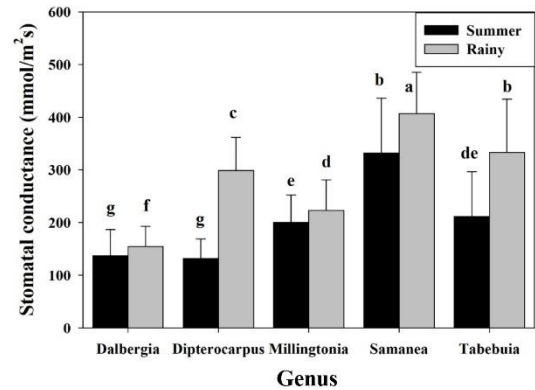


Figure 2 Average stomatal conductance over the day in summer season (black bar) and rainy season (gray bar) of *Dalbergia conchinchinensis*, *Dipterocarpus alatus*, *Millingtonia hortensis*, *Samanea saman*, and *Tabebuia rosea*. Different letters above each bar represent the statistical difference among the means of stomatal conductance of 5 species and 2 seasons at the significant level of 0.05.

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาการเปิดปากใบของพรรณไม้ 5
ชนิด ที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (important value
index, IVI) มากที่สุด 5 อันดับ ในอุทยาน 100 ปี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าปากใบเปิดในฤดู
ฝนมากกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากปริมาณน้ำและความ
ชื้นในอากาศที่มีมาก เมื่อน้ำแพร่เข้าสู่เซลล์คุมมาก
แรงแต้นเต่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปากใบพืชเปิดมาก
ในทางตรงกันข้ามในสภาวะแห้งแล้ง เซลล์คุมอยู่ใน

Table 1 Diurnal stomatal conductance in dry and rainy seasons of *Dalbergia cochinchinensis*, *Dipterocarpus alatus*, *Millingtonia hortensis*, *Samanea saman*, and *Tabebuia rosea* at Chulalongkorn University Centenary park.

Species	Time	Stomatal conductance (mmol/m ² s)		p-value for season
		Summer	Rainy	
<i>Dipterocarpus alatus</i>	07:00-09:00	162.63±40.87 ^{jk}	282.3±40.86 ^{fg}	< 0.0001**
	09:00-11:00	149.32±41.78 ^l	267.9±55.12 ^c	< 0.0001**
	11:00-13:00	121.08±21.86 ^m	324.20±37.65 ^e	< 0.0001**
	13:00-15:00	122.68±25.38 ^m	248.36±56.37 ^h	< 0.0001**
	15:00-17:00	101.82±16.01 ^o	271.82±41.72 ^{fg}	< 0.0001**
<i>Samanea saman</i>	07:00-09:00	435.44±46.46 ^a	354.26±41.05 ^{cd}	< 0.0001**
	09:00-11:00	382.40±87.75 ^b	506.40±50.99 ^a	< 0.0001**
	11:00-13:00	364.73±40.17 ^b	409.08±53.97 ^b	0.002**
	13:00-15:00	278.76±30.42 ^c	426.31±55.50 ^b	< 0.0001**
	15:00-17:00	198.80±84.80 ^{hi}	339.64±52.98 ^{de}	< 0.0001**
<i>Millingtonia hortensis</i>	07:00-09:00	228.60±40.42 ^{ef}	178.73±17.46 ^{jk}	< 0.0001**
	09:00-11:00	260.48±37.14 ^{cd}	264.24±35.00 ^{gh}	< 0.0001**
	11:00-13:00	200.34±33.06 ^{gh}	293.51±27.26 ^f	< 0.0001**
	13:00-15:00	160.79±26.76 ^{jk}	207.00±45.94 ⁱ	< 0.0001**
	15:00-17:00	151.43±17.38 ^{kl}	172.97±30.02 ^{kl}	0.003**
<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	07:00-09:00	171.5±18.17 ^{ij}	156.32±27.67 ^l	0.02*
	09:00-11:00	212.75±15.10 ^{fg}	183.67±22.42 ^j	< 0.0001**
	11:00-13:00	112.39±10.47 ^{mn}	175.15±18.48 ^{kl}	< 0.0001**
	13:00-15:00	102.47±9.35 ^o	157.21±37.00 ^{kl}	< 0.0001**
	15:00-17:00	85.49±6.28 ^p	99.94±8.36 ^m	< 0.0001**
<i>Tabebuia rosea</i>	07:00-09:00	350.06±44.73 ^b	355.22±43.90 ^{cd}	0.68ns
	09:00-11:00	240.98±21.65 ^{de}	404.27±34.60 ^b	< 0.0001**
	11:00-13:00	192.06±10.27 ^h	415.18±36.90 ^b	< 0.0001**
	13:00-15:00	166.57±6.85 ^j	335.19±50.02 ^{de}	< 0.0001**
	15:00-17:00	106.76±4.58 ^{no}	155.72±19.83 ^l	< 0.0001**

Different letters in each column represent statistical difference among the means of stomatal conductance of the 5 species (from 7 am to 5 pm) at the significant level of 0.05. The p-value in the last column represents the t-test comparison between the two seasons at the same time of the day. The “ns” means no statistical difference while “*” means statistical difference at significant level of 0.05 and “**” means statistical difference at significant level of 0.01.

สภาวะขาดน้ำทำให้เซลล์คุมเหี่ยวปากใบจะแคบหรือปิดลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ (วิไลภรณ์, 2556)

เมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูพบว่าในฤดูฝนจามจรีมีการเปิดปากใบเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ ชมพูพันธุ์ทิพย์และยางนา ส่วนในฤดูแล้ง ชนิดที่มีค่าการเปิดปากใบมากที่สุดยังคงเป็นจามจรีและชมพูพันธุ์ทิพย์เช่นเดียวกับในฤดูฝน ในขณะที่ยางนาที่เปิดปากใบเป็นลำดับ 3 ในฤดูฝนมีการเปิดปากใบที่ต่ำที่สุดในฤดูแล้ง โดยมีการเปิดปากใบใกล้เคียงกับพะยูน ซึ่งโดยรวมแล้วจามจรีมีการเปิดปากใบมากที่สุดทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน เนื่องจากจามจรีมีลักษณะใบที่เรียบ เป็นชนิดพันธุ์ไม่ผลัดใบ (deciduous species) ซึ่งมีการดูดซึบคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำในใบที่สูงกว่าชนิดพันธุ์ที่ไม่ผลัดใบ (evergreen tree species) คือ ยางนา (Kjelgren *et al.*, 2013) จามจรีมีชื่อเรียกทั่วไปว่า Rain tree เป็นไม้โตเร็วต่างถิ่นจากทวีปอเมริกาใต้ การศึกษาการดูดซึบคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ที่พบบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ ประตู่บ้าน นนทรีจามจรี และหูกวาง พบว่าประตู่บ้านและจามจรีมีการดูดซึบคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด โดยมีค่า 24.5 และ 20.9 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (Suwanmontri *et al.*, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่เมื่อจามจรีเปิดปากใบมาก ส่งผลให้สามารถดูดซึบคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้มาก โดยค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เพิ่มมากขึ้นนั้นเป็นผลมากจากการเปิดปากใบที่มาก ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการศึกษาลักษณะโครงสร้างใบและการแลกเปลี่ยนก๊าซของประตู่ที่ปลูกในเขตเมืองโดย ลดาวัลย์ และสาพิศ (2537) ที่รายงานว่าค่าการชักนำการเปิดปากใบมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบเป็นเส้นตรงในทิศทางเดียวกัน ($p < 0.05$)

พะยูนเป็นชนิดที่พบว่ามีการเปิดปากใบต่ำที่สุดในทั้ง 2 ฤดู ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากพะยูนเป็นไม้ที่เติบโตช้า สภาพด้านนิเวศที่นำมาปลูกในเมืองไม่เหมาะสมเนื่องจากปัจจัยแวดล้อมจำกัดในเรื่องน้ำ ความร้อนและความแห้งแล้ง การอัดแน่นของดิน และมลภาวะทางอากาศ เมื่อปัจจัยแวดล้อมไม่เหมาะสมทั้งสภาพอากาศ ดิน ลักษณะภูมิประเทศ การเติบโตและการขยายพันธุ์ได้ในช่วงปัจจัยแวดล้อมหนึ่ง เมื่อปัจจัยใดน้อยหรือมากเกินไปทำให้พืชตอบสนองต่อสภาวะเครียด ทำให้เติบโตช้าหรือตายในที่สุดตามหลักความทนทานทางนิเวศวิทยา (ecological amplitude) (อุทิศ, 2542)

ส่วนยางนาเป็นชนิดที่มีการเปิดปากใบสูงในฤดูฝน แต่มีค่าการเปิดปากใบต่ำที่สุดในฤดูแล้ง เนื่องจากยางนาเป็นไม้ที่มีนิเวศวิทยาตั้งเดิมอยู่บริเวณพื้นที่ชุ่มชื้น ที่ราบตามริมน้ำ ต้องการปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง เติบโตได้ดีในช่วงฤดูฝน-หนาวและจะชะงักการเติบโตในฤดูแล้ง ค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงเฉลี่ยในรอบวันเท่ากับ 6.98 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (ลดาวัลย์, 2549) ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับจามจรี ที่ 24.5 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (Suwanmontri *et al.*, 2013) ทั้งนี้เป็นผลมาจากใบมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นโดยการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการคายน้ำ ตามรายงานของ สาพิศ และคณะ (2546) เพื่อให้สามารถดำรงชีพในฤดูแล้ง (วิไลภรณ์, 2556) การเปิดปากใบของพรรณไม้แต่ละชนิดในรอบวัน (diurnal stomatal conductance) ในแต่ละฤดูกาลนั้นตอบสนองโดยตรงต่ออุณหภูมิ ความชื้น และค่าความดันไอหรือแรงดึงระเหยน้ำ (vapor pressure deficit, VPD) ในช่วงเช้าอากาศ (07:00-09:00 น.) อากาศจะมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูง แรงดึงระเหยน้ำ (VPD) ซึ่งเป็นค่าที่บอกระดับความ

แห้งของอากาศมีค่าต่ำเช่นกันซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมาจากแสงอาทิตย์ที่เริ่มส่องมาในช่วงเช้ายังมีไม่มากนักต่อมาในช่วงสายถึงบ่าย เมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิและแรงดึงการคายน้ำสูงขึ้นจนมีค่าสูงที่สุดในช่วง 13:00-15:00 น. และเริ่มลดต่ำลงเมื่อเวลา 15:00-17:00 น. ดังแสดงใน Figure 1 (b) พืชแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อสภาพอากาศที่กล่าวมานี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการควบคุมการเปิดปิดปากใบของพืช ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชในช่วงฤดูแล้ง จามจุรี ชมพูพันธุ์ทิพย์ ป๊อบ และพะยูนตอบสนองคล้ายคลึงกัน โดยมีการเปิดปากใบมากในช่วงเช้าถึงสายตามลำดับ และค่อย ๆ ปิดปากใบในช่วงบ่ายที่มีอุณหภูมิสูง ทั้งนี้เกิดจากการควบคุมของปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ส่วนยางนา มีลักษณะการเปิดปากใบคงที่เฉลี่ยในตลอดทั้งวัน โดยไม่มีความเปลี่ยนแปลงไปตามค่าแรงดึงน้ำในรอบวัน

ในช่วงฤดูฝน การเปิดปากใบของพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันโดยมีการเปิดปากใบสูงที่สุดในช่วงสายไปจนถึงบ่าย (09:00-13:00 น.) และเปิดปากใบลดลงในช่วงหลังจากเวลา 13:00 น. โดยผันแปรไปตามแรงดึงระเหยน้ำ อุณหภูมิในช่วงเช้าที่ไม่สูงมาก ประกอบกับความเข้มแสงที่น้อยส่งผลให้ปากใบเปิดน้อย แต่เมื่อความเข้มแสงและอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นปากใบเปิดกว้างไปตลอดจนถึงช่วงที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและปิดปากใบเมื่ออุณหภูมิและความเข้มแสงสูงเกินที่พืชต้องการใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อลดการสูญเสียน้ำของพืช การปิดของปากใบจะเกิดต่อเนื่องไปตลอดช่วงบ่ายจนกว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิลดลง เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นใหม่ในช่วงเย็นปากใบสามารถเปิดตัวได้อีกครั้งจะมากเพียงใดขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่เพียงพอสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงสรุปได้ว่าในพื้นที่ศึกษาเวลาประมาณ 09:00-11:00 น. เป็นช่วง

ที่เหมาะสมต่อการเปิดปากใบของพรรณพืชมากที่สุดในรอบวัน เนื่องจากมีค่าความเข้มแสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าพรรณไม้มีการเปิดปากใบในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากในฤดูแล้งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำทำให้ค่าความต่างความดันไอระหว่างผิวใบกับอากาศ (LAVPD) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น จึงเกิดการสูญเสียน้ำออกจากใบมาก เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป พืชจึงปิดปากใบ การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าพรรณไม้แต่ละชนิดและในแต่ละช่วงเวลามีค่าการชักนำการเปิดปากใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.0001$) ยกเว้นในช่วงเช้า (07:00-09:00 น.) ของชมพูพันธุ์ทิพย์ ที่มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (Table 1) ผลของความแตกต่างของไอน้ำระหว่างใบและอากาศ (leaf-to-air vapor pressure deficit, LAVPD) เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าชักนำการเปิดปากใบ เนื่องจากเป็นค่าที่แสดงถึงแรงดึงการคายน้ำของใบแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกันตามลักษณะการเปิดปิดปากใบ (Bunce, 2002) โดยค่า LAVPD ที่สูงหมายถึงพืชชนิดนั้นมีแรงดึงการคายน้ำที่สูง พืชจะเปิดปากใบเพื่อคายน้ำสูงหรือหากแรงดึงสูงจนเกินไปพืชอาจปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้ทำให้พืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เมื่อนำค่า LAVPD มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการชักนำการเปิดปากใบ Figure 3 พบว่าความสัมพันธ์ของเส้นแสดงความสัมพันธ์ของพรรณไม้แต่ละชนิดในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่ความสัมพันธ์เป็นในทางผกผัน นั่นคือ เมื่อค่า LAVPD สูงขึ้น ซึ่งหมายถึงแรงดึงการคายน้ำสูงขึ้น ปากใบมีแนวโน้มที่จะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้งที่ค่า LAVPD สูงกว่าในฤดูฝนมากส่งผลให้ความชื้นในฤดูแล้งมากกว่าในฤดูฝน

ยกเว้นในบางวันที่มีการตอบสนองเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายถึงปากใบควบคุมการเปิดปิดปากใบมีประสิทธิภาพต่ำ เพราะไม่สามารถปิดปากใบเมื่อแรงดึงน้ำที่สูงได้ ทำให้น้ำสูญเสียไปเรื่อย ๆ อย่งไร

ก็ตาม ในส่วนของจามจุรี พะยูง และปีบ ในฤดูฝน เส้นความชันมีแนวโน้มเป็นในทางบวก ซึ่งหมายถึงเมื่อ LAVPD สูงขึ้น ปากใบมีการเปิดเพื่อคายน้ำมากขึ้น เนื่องมาจากดินมีปริมาณน้ำอยู่มาก ส่งผล

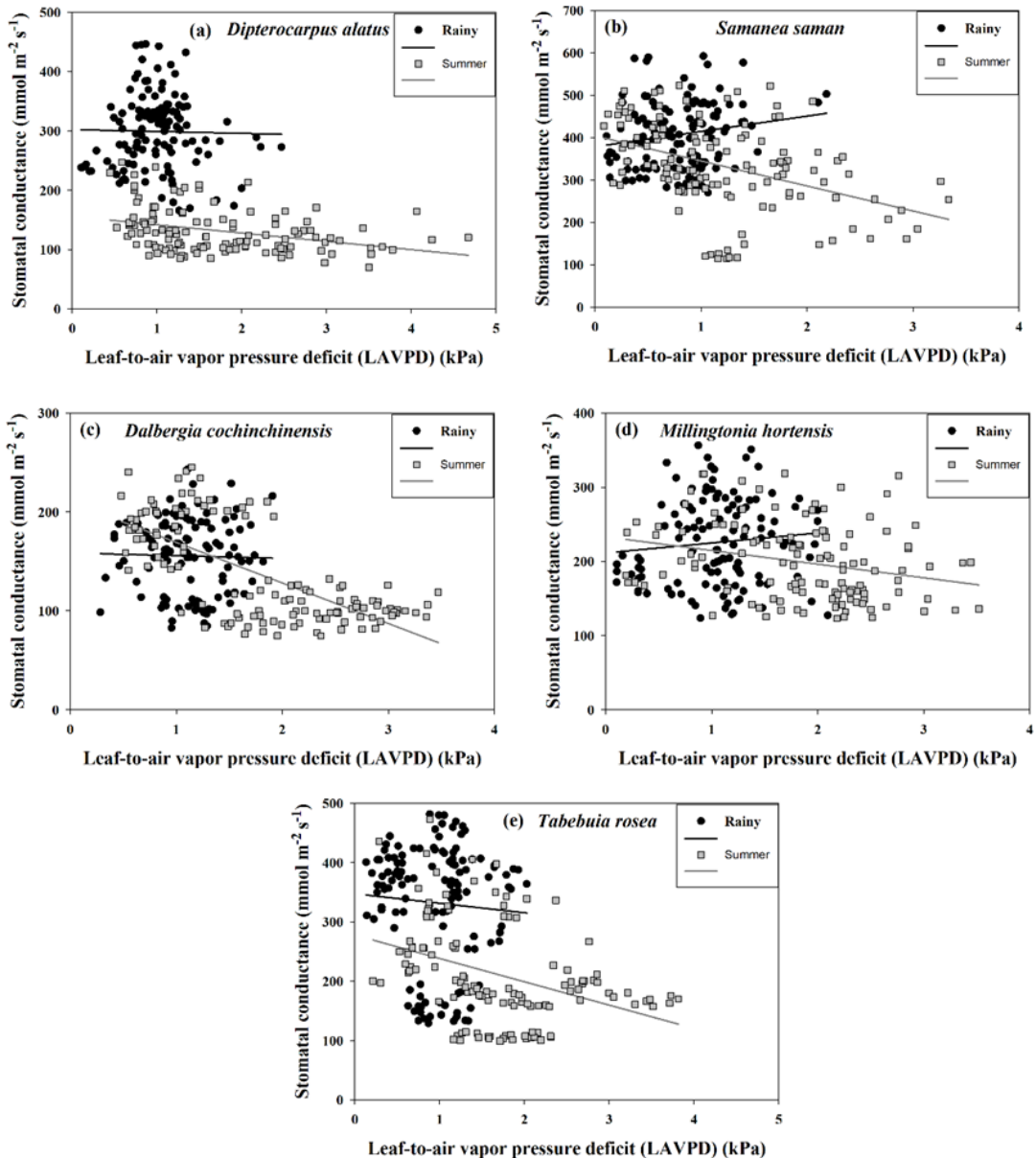


Figure 3 Linear regression results of the relationships between stomatal conductance and leaf-to-air vapor pressure deficit (LAVPD) of *Dalbergia cochinchinensis*, *Dipterocarpus alatus*, *Millingtonia hortensis*, *Samanea saman*, and *Tabebuia rosea* at Chulalongkorn University Centenary Park.

ให้พืชมีน้ำใช้อย่างเพียงพอ จึงไม่ต้องปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ จึงเป็นช่วงสำคัญที่พืชจะรีบเปิดปากใบเพื่อสังเคราะห์ด้วยแสงและเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงนี้ ในพืชชนิดที่มีการผลัดใบในพื้นที่แห้งแล้งปากใบจะไวต่อการตอบสนองต่อ LAVPD สูงพืชจะลดการเปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ (Kjelgren *et al.*, 2013) สอดคล้องกับ Bauerle และคณะ (2003) ซึ่งอธิบายการปิดปากใบพร้อมกับค่าพลังงานศักย์ของน้ำที่ลดลงด้วยค่า LAVPD โดยใบขนาดใหญ่เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ค่า LAVPD สูง (เนื่องจาก LAVPD คำนวณจากค่าอุณหภูมิของใบ) ส่งผลให้การคายน้ำสูงตามไปด้วย เมื่อมีการคายน้ำมากพืชจะตอบสนองด้วยการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ เมื่อปากใบปิดภายในใบไม่มีน้ำมาลดอุณหภูมิส่งผลให้อุณหภูมิของใบมีค่าสูงขึ้น ค่า LAVPD จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ Chaisalee (2000) ได้ศึกษาการตอบสนองต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อ LAVPD ของยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*) เต็ง (*Shorea obtuse*) ริง (*Shorea siamesis*) และแดง (*Xylia xylocarpa*) ที่ศึกษาในโรงเพาะชำ คณะวนศาสตร์ พบว่าค่า LAVPD มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการคายน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ ตลอดจนการควบคุมค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในปากใบ

5. สรุป

การตอบสนองของพรรณไม้ต่อสภาพอากาศเขตเมืองในรอบวันในแต่ละฤดูกาลตอบสนองโดยตรงต่ออุณหภูมิ ความชื้น และแรงดึงระเหยน้ำ ในฤดูแล้งพบว่าการตอบสนองมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน จามจุรีมีการเปิดปากใบมากที่สุด รองลงมา คือ ชมพูพันธุ์ทิพย์ ปีบ พะยูง ตามลำดับ รูปแบบการเปิดปากใบ มีการเปิดมากในช่วงเช้าถึงสาย และค่อย ๆ ปิดปากใบในช่วงบ่ายที่มีอุณหภูมิสูง ส่วน

การเปิดปากใบของยางนาคงที่เฉลี่ยในตลอดทั้งวัน ในฤดูฝนพบว่าจามจุรีและชมพูพันธุ์ทิพย์เปิดปากใบมากที่สุดเช่นกัน รองลงมา คือ ยางนา ปีบ และพะยูง รูปแบบการเปิดปากใบมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยเปิดมากในช่วงสายไปจนถึงบ่าย และเปิดปากใบลดลงหลังช่วงเวลา 13:00 น. โดยเฉลี่ยแล้วในฤดูฝนมีการเปิดปากใบของพรรณไม้โดยรวมมากกว่าฤดูแล้ง

6. รายการอ้างอิง

ลดาวัลย์ พวงจิตร, 2549, คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณชีวมวลของพรรณไม้ในเขตร้อนภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ, รายงานการวิจัย, ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลดาวัลย์ พวงจิตร และสาพิศ ร้อยอำแพง, 2537, ลักษณะโครงสร้างใบและการแลกเปลี่ยนก๊าซของประดู่ที่ปลูกในเขตเมือง, ววนศาสตร์ 13: 135-149.

ทัศนวรรณ สัมพันธ์รักษ์, 2548, คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของใบไม้ยืนต้นบางชนิดที่ปลูกในพื้นที่เมือง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ภาณุมาศ ลาดปลาชะ, เจษฎา เหลืองแจ่ม และวีระยุทธ กุลพรพันธ์, 2546, ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเต็งรัง, ฝายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สุนทรียิ่งชัชวาลย์, 2535, ชลศาสตร์ในระบบดิน-พืช, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

- วิไลภรณ์ บุญญกิจจินดา, 2556, สรีรวิทยาของพืช, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, นครปฐม.
- วัลยา คงผล, 2543, อัตราการสังเคราะห์แสงและการตอบสนองต่อปัจจัยแสงของพรรณไม้ป่าชายเลนบางชนิดบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุทิศ กุฎอินทร์, 2542, นิเวศวิทยาพื้นฐานเพื่อการป่าไม้, ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Buck, A.L., 1981, New equations for computing vapor pressure and enhancement factor, J. Appl. Meteorol. 20: 1527-1532.
- Bunce, J.A., 2002, Effects of humidity on short-term responses of stomatal conductance to an increase in carbon dioxide concentration, Plant cell Environ. 21: 115-120.
- Bauerle, W. L., Whitlow, T. H., Setter, T. L., Bauerle, T.L. and Vermeylen, F.M., 2003, Ecophysiology of *Acer rubrum* seedlings from contrasting hydrologic habitats: Growth, gas exchange, tissue water relations, abscisic acid and carbon isotope discrimination, Tree Physiol. 23: 841-850.
- Chaisalee, N., 2000, Leaf Morphology, Gas Exchange Characteristics and Water Deficit Responses of Four Tropical Tree Species, M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
- Choat, B., Ball, M.C., Luly, J.G. and Holtum, J.A., 2005, Hydraulic architecture of deciduous and evergreen summer rainforest tree species in north-eastern Australia, Trees 19: 305-311.
- Ishida, A., Diloksumpun, S., Staporn, D., Panuthai, S., Gamo, M., Yazaki, K., Ishizuka, M. and Puangchit, L., 2006, Contrasting seasonal leaf habits of canopy trees between tropical summer-deciduous and evergreen forest in Thailand, Tree Physiol. 26: 643-656.
- Kjelgren, R., Joyce, D and Doley, D, 2013, Subtropical- tropical urban tree water relations and drought stress response strategies, Arboric. Urban Forest. 39: 125-131.
- Tor-ngern, P. and Puangchit, L., 2018, Effects of varying soil and atmospheric water deficit on water use characteristics of tropical street tree species, Urban Forest Urban Greening 36: 76-83.
- Salisbury, F.B. and Ross, C.W., 1985, Plant Physiology, Wadsworth, Inc., California.
- Suwanmotri, C., Kositanont, C. and Panich, N., 2013, Carbon dioxide absorption of common trees in Chulalongkorn University, Mod. Appl. Sci. 7: 1-7.
- Hopkins, W. G., 1995, Introduction to Plant Physiology, 2nd Ed., Wiley-Blackwell, Inc., Toronto.