

ลักษณะโครงสร้างใบและการแลกเปลี่ยนก๊าซของประดู่ ที่ปลูกในเขตเมือง

LEAF STRUCTURE AND GAS EXCHANGE CHARACTERISTICS OF *PTEROCARPUS INDICUS* PLANTED IN THE CITY

ดดาวัลย์ พวงจิตร์¹

Ladawan Puangchit

สาพิศ ร้อยอำแพง²

Sapit Royampaeng

ABSTRACT

Pterocarpus indicus, which is the most common ornamental trees planted in Bangkok, was selected for leaf anatomy and gas exchange characteristics studies. Six study sites in Bangkok were selected: Silom, Ladprao and Bangkhen as heavy-polluted area; Kasetsart University, Chatuchak Park and Lumpini Park as mild-polluted area.

Anatomical study of *P. indicus* leaf indicated that there were no differences in leaf structure among sites. Slight differences in leaf thickness and palisade thickness were observed between heavy-polluted and mild-polluted sites. *P. indicus* leaf was found to be hypostomatous. The stomata were found evenly distributed throughout the leaf. Stomatal frequency varied differently among six study sites, but no statistical difference was found. Stomatal frequency varied between 153-173 stomata/mm². The average stomatal size was 24.24 μ m, no any differences were observed.

The diurnal course of the net photosynthetic rates of *P. indicus* of all sites showed the similar pattern. The photosynthetic rates increased in the morning and remained relatively constant or dropped a little in the afternoon. The net photosynthetic rates reached the maximum between 8.00-9.00 h. The average daily photosynthetic rates varied differently among study sites. Highly significant differences were observed ($p < 0.01$). The lowest net photosynthetic rate ($2.64 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) was found in the trees planted at heavy-polluted sites while the highest rates ($6.21 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) was found at the mild-polluted sites. Net photosynthetic rates did not increase with the light intensity or carbon dioxide concentration. Stomatal conductance were found to be correlated with net photosynthetic rates.

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะโครงสร้างใบ และการแลกเปลี่ยนก๊าซของไม้ประดู่ที่ปลูกในเขตเมืองได้ศึกษาทั้งไม้ประดู่ที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานคร 6 แห่ง โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมาก ได้แก่ สีลม ลาดพร้าว บางเขน และพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สวนจตุจักร สวนลุมพินี

จากการศึกษาพบว่าลักษณะโครงสร้างของใบประดู่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่ แต่ใบประดู่ในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากจะมีใบบางกว่า และความหนาของ palisade parenchyma น้อยกว่าใบประดู่ในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย ปากใบของประดู่จะพบเฉพาะที่บริเวณด้านล่างของใบ โดยมีลักษณะการกระจายของปากใบสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวใบ ยกเว้นบริเวณเส้นใบ จำนวนเฉลี่ยของปากใบจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 153-173 ปากใบ/มม.² พื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากจะมีจำนวนปากใบน้อยกว่าพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย

¹ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

² สำนักงานป่าไม้เขตอุดรธานี อ. เมือง อุดรธานี 41000

แต่ความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับขนาดของปากใบไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $24.24 \mu\text{m}$

อัตราการสังเคราะห์แสงประจำวันของไม้ประดู่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันในทุกพื้นที่ โดยอัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และลดลงเล็กน้อยในช่วงบ่าย อัตราการสังเคราะห์แสงจะถึงจุดสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 8.00 - 9.00 น. ค่าเฉลี่ยประจำวันของอัตราการสังเคราะห์แสงจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยประดู่ในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าประดู่ในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย อัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยน้อยที่สุดของไม้ประดู่ พบที่ถนนสีลมเท่ากับ $2.64 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และสูงที่สุดที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เท่ากับ $6.21 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงของไม้ประดู่ไม่ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มของแสง และความเข้มของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกับ stomatal conductance

คำนำ

เนื่องจากมีหลักฐานเป็นที่แน่ชัดในปัจจุบันว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของโลกมีปริมาณสูงขึ้นในอัตราที่คงที่ โดยเฉพาะในเขตนครหลวง และเมืองใหญ่ๆ ของแต่ละประเทศ ซึ่งมีประชากรอยู่อย่างหนาแน่น มียานพาหนะคับคั่ง การเผาผลาญเชื้อเพลิงของยานพาหนะต่างๆ ตลอดจนโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการเพิ่มมลพิษในอากาศ ทำให้คุณภาพของอากาศเสื่อมลง ซึ่งนอกเหนือจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ยังมี ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน ไนโตรสออกไซด์ และฝุ่นละออง เป็นต้น

ในการแก้ไขปัญหาคูณภาพของอากาศในเขตเมืองใหญ่ๆ เช่น กรุงเทพมหานคร หรือรอบเขตโรงงานอุตสาหกรรมนั้น นอกจากการปรับปรุงและกำหนดมาตรฐานต่างๆ ของการเผาผลาญเชื้อเพลิง เช่น การติดตั้งเครื่องกรองไอเสียรถยนต์ การใช้น้ำมันไร้สารตะกั่ว อาจเป็นการบรรเทาปัญหาให้ลดลงได้บ้าง แต่ก็ไม่ใช่วิธีการแก้ไข

ปัญหาที่ยั่งยืน วิธีการปรับปรุงคุณภาพของอากาศวิธีหนึ่ง อาจทำได้โดยการปลูกต้นไม้ในรูปของสวนสาธารณะ ตามแนวถนน หรือรอบๆ เขตโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นไม้ใหญ่ต่างๆ ไป มีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เพื่อนำมาใช้ในการปรุงอาหาร นอกจากนั้น ยังปล่อยออกซิเจนออกสู่บรรยากาศ ซึ่งเปรียบเสมือนการฟอกอากาศให้สะอาดขึ้น นอกจากนั้น ต้นไม้บางชนิดยังมีความสามารถในการดูดซับก๊าซพิษ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น (Smith, 1990)

ในจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่หลายชนิดที่นิยมปลูกในเขตกรุงเทพมหานครนั้น ประดู่บ้าน (*Pterocarpus indicus* Willd.) นับว่าเป็นพันธุ์ไม้ชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกมากที่สุด เนื่องจากประดู่เป็นพันธุ์ไม้ที่มีทรงพุ่มที่ให้ความร่มรื่น ออกดอกเป็นช่อสีเหลืองสวยงาม และสามารถเจริญเติบโตได้ในที่มีมลพิษทางอากาศสูง อย่างไรก็ตามข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางสรีรวิทยาของประดู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีมลพิษทางอากาศสูงนั้นยังไม่เคยมีการศึกษา การศึกษาใน

ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ ลักษณะทางสรีรวิทยาของไม้ประดับที่ปลูกในเขตเมือง ตลอดจนความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆ และปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยา เพื่อเป็นแนวทางในการคัดเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะสม สำหรับปลูกในที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูง เช่น เขตกรุงเทพมหานคร ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ที่ทำการศึกษา

ในการศึกษานี้ ได้ทำการคัดเลือกต้นไม้ประดับที่ปลูกอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครทั้งหมด 6 แห่ง โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย ได้แก่ บริเวณในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สวนจตุจักร และสวนลุมพินี และพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูง ได้แก่ บางเขน (หน้ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) ลาดพร้าว (หน้าเซ็นทรัลลาดพร้าว) และบนถนนสีลม ทำการคัดเลือกต้นไม้ประดับที่มีขนาดความสูงและความโตใกล้เคียงกัน พื้นที่ละ 3 ต้น เป็นตัวแทนในการศึกษา

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบ

ทำการสุ่มตัวอย่างใบที่พัฒนาเต็มที่แล้วจากต้นไม้ตัวอย่าง เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบ โดยแยกใบออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ใบที่ได้รับแสงแดดเต็มที่ (sun leaf) ซึ่งจะเก็บจากส่วนบนหรือส่วนนอกของเรือนยอด และใบในที่ร่ม (shade leaf) ซึ่งจะเก็บจากส่วนกลางหรือส่วนในของเรือนยอด อย่างละ 5 ใบ นำตัวอย่างใบแช่ไว้ในสารละลาย formalin-acetic acid-ethanol เพื่อหยุดการทำงานของเซลล์และรักษาโครงสร้างของเซลล์ไว้

แล้วจึงนำมาศึกษาลักษณะโครงสร้างโดยวิธีการทำสไลด์ถาวร ตามวิธีการของ Johansen (1940)

การศึกษาลักษณะของปากใบ

สุ่มตัวอย่างใบของต้นไม้ประดับทั้ง sun leaf และ shade leaf ใบอย่างละ 10 ใบต่อต้น เพื่อศึกษาลักษณะ ขนาด และจำนวนของปากใบ โดยการลอกเอาผิวใบของประดับออกมาด้วยวิธีพิมพ์ลายใบด้วยน้ำยาทาเล็บ ในการพิมพ์ลายใบนั้น จะแยกระหว่างพื้นผิวด้านหน้า และด้านหลังของใบ โดยแบ่งใบออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนปลาย (apex) ส่วนกลาง (middle) และส่วนฐาน (base) ของใบ เพื่อศึกษาดูการกระจายของปากใบ

การศึกษ้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์

ทำการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของไม้ประดับตัวอย่างที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานครด้วยเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง portable photosynthesis system (LICOR-6200) โดยทำการวัดทุกๆ ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง 16.00 น. เพื่อดูความผันแปรของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซในช่วงวัน ในระหว่างที่ทำการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซนี้ ได้มีการบันทึกข้อมูลอื่นๆ ด้วย ได้แก่ การชักนำการเปิดปิดของปากใบ (stomatal conductance) อุณหภูมิ ความชื้น แสง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

ผลและวิจารณ์

ลักษณะทางกายวิภาคของใบประดับที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานคร

ประดับ โดยทั่วไปมีลักษณะโครงสร้างภายในของใบประกอบด้วย epidermis 1 แถว พบทั้งด้าน

หน้า (adaxial) และด้านหลัง (abaxial) ของใบ เซลล์มีรูปร่างสี่เหลี่ยม ที่ผิวใบมีสารคิวติน (cutin) เคลือบหนา ลักษณะของเซลล์ผิวใบเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Figure 1a และ 1b) ทางด้านหลังของใบมีขนใบ แบบ uniseriate trichome (Figure 2b) ซึ่งลักษณะนี้ ถือว่าเป็นลักษณะทั่วไปของพันธุ์ไม้ในตระกูล Papilionaceae (Metcalf and Chalk, 1972)

ใบของประดู่บ้านเป็นแบบ dorsiventral คือ จะมีลักษณะโครงสร้างแตกต่างกันระหว่างด้าน หน้าและด้านหลังของใบ บริเวณผิวด้านหน้าใบถัด จาก epidermis เข้ามาเป็น mesophyll ซึ่งประกอบด้วย palisade parenchyma ในขณะที่ผิวด้านหลัง ของใบถัดจากชั้น epidermis เข้ามาจะประกอบด้วย spongy parenchyma (Figure 1a และ 1b) palisade parenchyma มีลักษณะเป็นเป็นเซลล์รูปร่างยาว เรียงกันตามขวางของใบเป็นแถวเดียว ภายในเซลล์ประกอบด้วยเม็ดคลอโรพลาสต์อยู่เป็นจำนวนมาก ส่วน spongy parenchyma นั้น จะเรียงกันอยู่อย่างหลวมๆ ด้านหลังใบ ในชั้น mesophyll นี้ จะมีกลุ่มท่อน้ำท่ออาหารเป็นกลุ่มเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วทั้งใบ และมีหลายขนาด รอบๆ จะเป็น bundle sheath และ bundle sheath extension ติดต่อไปจนถึงชั้นของ epidermis (Figure 1a) ท่อน้ำท่ออาหารที่ใหญ่ที่สุดจะพบบริเวณเส้นกลางใบ โดยมีท่อน้ำ (xylem) อยู่ทางด้านหน้าใบ และท่ออาหาร (phloem) จะอยู่ทางด้านหลังใบ (Figure 1c) รอบๆ ท่อน้ำท่ออาหารจะประกอบด้วยเซลล์แบบ sclerenchyma นอกจากนั้นยังพบผลึกแบบ rhombohedral crystal เป็นจำนวนมาก (Figure 1c)

ที่ด้านหลังใบจะพบปากใบเป็นจำนวนมาก เนื่องจากประดู่เป็นพวก hypostomatous จึงไม่พบ

ปากใบที่ด้านหน้าใบ (Figure 2a) ปากใบมีลักษณะเป็นแบบ paracytic (Figure 2c) มี subsidiary cells 2 เซลล์ ขนาดกับเซลล์ควบคุม ระดับของปากใบจะอยู่ใต้ผิวใบเล็กน้อย ซึ่งเป็นลักษณะของปากใบของพันธุ์ไม้ที่มีความสามารถทนแล้งได้ ปากใบจะพบกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวใบ แต่จะพบน้อยมากบริเวณเส้นใบ และเส้นกลางใบ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางโครงสร้างของใบที่เป็น sun leaf และ shade leaf

สำหรับลักษณะโครงสร้างของใบประดู่ที่เก็บมาจากพื้นที่ตัวอย่างที่ทำการศึกษาทั้งหมด 6 แห่งในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่ามีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย จากการศึกษาพบว่าจำนวนของขนที่พบด้านหลังใบจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ใบประดู่ที่เก็บมาจากพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมาก เช่น ตลาดพร้าว และสีลม จะมีขนจำนวนมากกว่า ใบประดู่ที่เก็บจากพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย เช่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสวนจตุจักร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการขยายตัวของเซลล์มีน้อยกว่า จึงทำให้เซลล์มีขนาดเล็ก ความแตกต่างในการแบ่งตัวและขยายตัวของเซลล์นี้อาจเป็นผลกระทบโดยตรงจากมลพิษของอากาศซึ่งทำให้ดินไม่มีการปรับตัว เพื่อให้สามารถทนต่อมลพิษของอากาศได้ การที่ใบมีขนจำนวนมากก็เป็นลักษณะการปรับตัวของต้นไม้ โดยการเปลี่ยนเซลล์มาเป็นเซลล์ขน เพื่อช่วยในการกรองฝุ่นละออง และลดการสูญเสียน้ำ อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการนับจำนวนของขนที่พบ

นอกจากนั้นยังพบว่าแผ่นใบประดู่ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากจะมีขนาดบางกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับใบประดู่ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีมล-

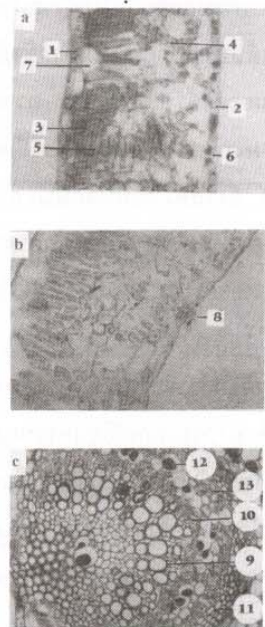


Figure 1. Leaf transection of *P. indicus*, gross structure, x720 (a); trichome, x1,000 (b); main vascular bundle in the midrib, x500 (c)
 1 = upper epidermis, 2 = lower epidermis, 3 = palisade parenchyma, 4 = spongy parenchyma, 5 = bundle sheath extension, 6 = stomata, 7 = water storage cell, 8 = trichome, 9 = xylem, 10 = phloem, 11 = sclerenchyma, 12 = unknown cell inclusion, 13 = crystal.

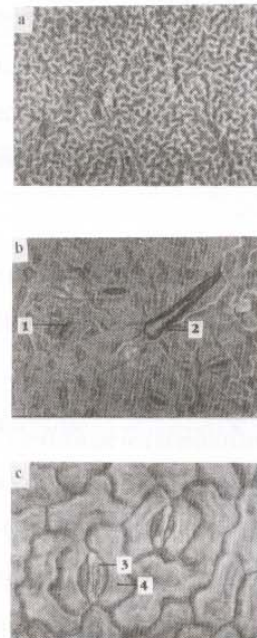


Figure 2. The leaf surfaces of *P. indicus*, adaxial surface, x500 (a); abaxial surface, x1,000 (b); stomata, x2,000 (c)
 1 = stomata
 2 = trichome
 3 = guard cell
 4 = subsidiary cell

พืชของอากาศน้อย อันเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของความหนาของ palisade parenchyma สำหรับใบประดับที่ปลูกที่สีลมซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากนัก แม้ว่าใบจะค่อนข้างหนา แต่ก็พบว่าความหนาของ palisade parenchyma จะลด

ลง ในขณะที่ความหนาของ spongy parenchyma เพิ่มขึ้น ลักษณะดังกล่าวน่าจะเป็นการปรับตัวของต้นไม้ เพื่อเพิ่มพื้นที่ช่องว่างภายในใบ ทำให้สามารถเก็บก๊าซและน้ำได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามความแตกต่างของความหนาของใบอันเนื่องมาจาก

ชั้นของ palisade และ spongy นั้น นอกจากจะเป็นผลกระทบโดยตรงจากมลพิษของอากาศแล้ว ยังอาจเกิดเนื่องมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น แสง และความชื้น เป็นต้น อิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ควรที่จะได้มีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป

ลักษณะการกระจาย และจำนวนของปากใบของประดู่ที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานคร

เนื่องจากประดู่มีใบเป็นแบบ hypostomatous คือจะพบปากใบเฉพาะบริเวณด้านหลังใบ การศึกษาจำนวนของปากใบในครั้งนี้จึงกระทำเฉพาะที่ด้านหลังใบ จากการศึกษาพบว่าจำนวนของปากใบจะแตกต่างกันระหว่าง sun leaf และ shade leaf โดย sun leaf จะมีจำนวนของปากใบน้อยกว่า shade leaf จำนวนปากใบของ sun leaf เฉลี่ยเท่ากับ 166 ปากใบ/มม.² ส่วน shade leaf จะมีจำนวนปากใบเฉลี่ยเท่ากับ 177 ปากใบ/มม.² อย่างไรก็ตามความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ซึ่งโดยปกติแล้ว sun leaf และ shade leaf มักจะมีลักษณะโครงสร้างใบที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวนของปากใบ ดังที่ Osborn และ Taylor (1990) พบว่า ปากใบของไม้ตระกูลก่อ ใบของ sun leaf จะมีจำนวนมากกว่าใบของ shade leaf และอัจฉรา ไครเพิ่ม (2520) ได้ทำการศึกษาจำนวนของปากใบของพืชป่าชายเลนหลายชนิด โดยแยกเป็น sun leaf และ shade leaf ก็ได้รับผลการทดลองในทำนองเดียวกัน อย่างไรก็ตามสาเหตุที่ไม่พบความแตกต่างของจำนวนปากใบของ sun leaf และ shade leaf ในการศึกษาครั้งนี้ อาจจะเนื่องมาจากต้นประดู่ที่ปลูกในบริเวณ

กรุงเทพมหานครจะมีลักษณะของเรือนยอดโปร่ง ไม่แน่นทึบ การปลูกต้นไม้ในแนวนอนโดยปกติจะปลูกแต่ละต้นห่างจากกัน ไม่เบียดชิดกัน ทำให้ใบทั่วทั้งเรือนยอดได้รับแสงเต็มที่ ความแตกต่างระหว่าง sun leaf และ shade leaf จึงไม่เด่นชัด

Table 1 ยังแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของปากใบของประดู่ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปากใบมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวใบ ไม่ว่าจะเป็นส่วนปลาย ส่วนกลาง หรือส่วนฐานใบ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวจะได้นำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาการแลกเปลี่ยนก๊าซของประดู่ต่อไป คือ ในการสุ่มตัวอย่างพื้นที่ผิวใบเพื่อศึกษาการแลกเปลี่ยนก๊าซนั้น สามารถสุ่มตัวอย่างได้ตลอดทั่วทั้งใบ โดยจะไม่มีมีความแตกต่างกันในเรื่องของจำนวนของปากใบ

จากการศึกษาจำนวนปากใบของประดู่บ้านที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ 6 แห่ง ในกรุงเทพมหานครนั้นพบว่า จำนวนและขนาดของปากใบมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ (Table 2) ขนาดของปากใบซึ่งวัดตามความยาวของเซลล์ควบคุม มีขนาดเฉลี่ยตั้งแต่ 23.25 μm (ลาดพร้าว) ถึง 25.38 μm (บางเขน) แต่ความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มีแนวโน้มที่เด่นชัดในเรื่องขนาดของปากใบระหว่างพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมาก และพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย สำหรับจำนวนของปากใบมีความผันแปรตั้งแต่ 153 ปากใบ/มม.² (ลาดพร้าว) ถึง 173 ปากใบ/ มม.² (จตุจักร) ในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมาก (ลาดพร้าว สีลม บางเขน) จะมีจำนวนของปากใบมากกว่าในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย (สวนจตุจักร สวนลุมพินี) ยกเว้นภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่มี

Table 1. Average abaxial stomatal frequency ($\pm$ S.D.) of *P. indicus* leaf at three different positions

Position	Stomatal number / mm ²	
	sun leaf	shade leaf
Apex	166.93 $\pm$ 13.90	175.87 $\pm$ 34.24
Middle	160.27 $\pm$ 23.51	180.00 $\pm$ 26.58
Base	168.27 $\pm$ 22.69	175.33 $\pm$ 34.24
Average	165.16 $\pm$ 20.03	177.07 $\pm$ 29.65

จำนวนปากใบค่อนข้างน้อย (166 ปากใบ/มม.²) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่าต้นประดู่ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมาก จะมีการขยายตัวของเซลล์ ทำให้เซลล์มีขนาดเล็ก จำนวนของปากใบจึงอยู่ใกล้กันมากกว่าเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากว่าประดู่ต้นนั้นจะมีการผลัดใบเป็นประจำทุกปี จึงทำให้มีการเปลี่ยนใบใหม่อยู่เสมอ ความแตกต่างในเรื่องของการปรับตัวของลักษณะทางกายวิภาค และสัณฐานวิทยาของประดู่จึงไม่เด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ไม่ผลัดใบในเขตอบอุ่น (Bennett et al., 1992)

อัตราการสังเคราะห์แสงประจำวันของไม้ประดู่

อัตราการสังเคราะห์แสงประจำวันของไม้ประดู่ที่ปลูกตามพื้นที่ต่างๆ ในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เวลา 7.00-16.00 น. มีลักษณะคล้ายคลึงกันทุกพื้นที่ คืออัตราการสังเคราะห์แสงจะเริ่มขึ้นเมื่อมีแสง และอัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีแสงมากขึ้น เมื่ออัตราการสังเคราะห์แสงถึงจุดสูงสุด อัตราการสังเคราะห์แสงจะเริ่มคงที่ หรือลดลงเล็กน้อย ซึ่งมักจะพบในช่วงเวลาบ่าย จากการศึกษาพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงจะถึงจุดสูงสุดในช่วงระหว่างเวลา 8.00 - 9.00 น. สำหรับ

ไม้ประดู่ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สวนจตุจักร บางเขน และลาดพร้าว ยกเว้นไม้ประดู่ที่สีลมซึ่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดในเวลา 11.00 น. และที่สวนลุมพินีมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดในเวลา 14.00 น. (Figure 3) โดยทั่วไปแล้ว ลักษณะความผันแปรประจำวันของอัตราการสังเคราะห์แสงนั้น มักจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง คืออัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณของแสงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามมักจะพบว่าในช่วงเที่ยงวันถึงบ่าย อัตราการสังเคราะห์แสงมักจะลดลงเล็กน้อย แม้ว่าความเข้มของแสงจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการปิดของปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ (Kramer และ Kozlowski, 1979) สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากทำการศึกษาที่ต้นไม้ที่ปลูกตามแนวถนนในเมือง ต้นไม้ถูกบังแสงจากร่มเงาของอาคาร ความเข้มของแสงในช่วงบ่ายจึงไม่มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณถนนสีลมนั้น จะพบว่าปริมาณความเข้มของแสงจะน้อยกว่าพื้นที่อื่นๆ เนื่องจากในบริเวณถนนสีลมมีอาคารสูงเป็นจำนวนมาก และถนนไม่กว้างนัก ต้นไม้ที่ปลูกอยู่ในแนวเกาะกลางถนนจึงถูกบังแสงแดดจากตึก ทำให้ต้นไม้ไม่ได้รับแสงแดดเต็มที่

Table 2. Average stomatal size and frequency ($\pm$ S.D.) of *P. indicus* planted at 6 sites in Bangkok

Site	Stomatal frequency stomata/mm ²	Stomatal length μ m
Jatujak Park	172.82 $\pm$ 23.90	23.91 $\pm$ 0.47
Lumpini Park	170.82 $\pm$ 24.36	24.42 $\pm$ 1.07
Kasetsart University	166.09 $\pm$ 16.14	24.28 $\pm$ 0.25
Bangkheng	168.12 $\pm$ 10.37	25.38 $\pm$ 1.43
Silom	156.82 $\pm$ 12.37	24.19 $\pm$ 0.21
Ladprao	152.84 $\pm$ 16.32	23.25 $\pm$ 0.26
Average	164.37 $\pm$ 19.10	24.24 $\pm$ 0.92

ค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์แสงประจำวันของไม้ประดู่ที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานคร ได้แสดงไว้ใน Table 3 ผลการศึกษาพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.63 ถึง 6.21 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ประดู่ที่ปลูกในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีค่าเฉลี่ยประจำวันของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (6.21 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) และประดู่ที่ปลูกในบริเวณถนนสีลมมีค่าเฉลี่ยประจำวันของอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำสุด (2.63 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้ประดู่ในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 10.29 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ที่บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้ประดู่ที่สวนจตุจักร สวนลุมพินี บางเขน ลาดพร้าว และสีลมมีค่าเท่ากับ 9.46, 6.51, 7.33, 6.60, และ 4.18 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ (Table 3) อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้ประดู่ในบริเวณที่มีมลพิษทางอากาศมาก จะมีค่าต่ำกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้ประดู่ในบริเวณที่มีมลพิษทางอากาศ

น้อย ยกเว้นไม้ประดู่ในบริเวณสวนลุมพินีซึ่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากว่าสวนลุมพินีเป็นสวนสาธารณะอยู่ในใจกลางเมือง จึงยังคงได้รับอิทธิพลของมลพิษทางอากาศอยู่มาก แม้ว่าในสวนลุมพินีจะมีต้นไม้อยู่เป็นจำนวนมากก็ตาม อีกสาเหตุหนึ่งนั้น ก็อาจเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมของพันธุ์ไม้ที่ปลูก เนื่องจากไม้ประดู่ที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานครทั้งหมดถูกนำมาจากที่ต่างๆ กัน ซึ่งลักษณะทางพันธุกรรมนี้จะมีผลอย่างมากต่อการปรับตัวทางสรีรวิทยาของต้นไม้ (ลดาวลีย์ พวงจิตร, 2534) อย่างไรก็ตาม อัตราการสังเคราะห์แสงของพันธุ์ไม้นั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ อีกมาก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นได้

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงและความเข้มของแสง

โดยทั่วไปแล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มของแสงที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (PAR, 400-700 nm) เพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งซึ่งอัตรา

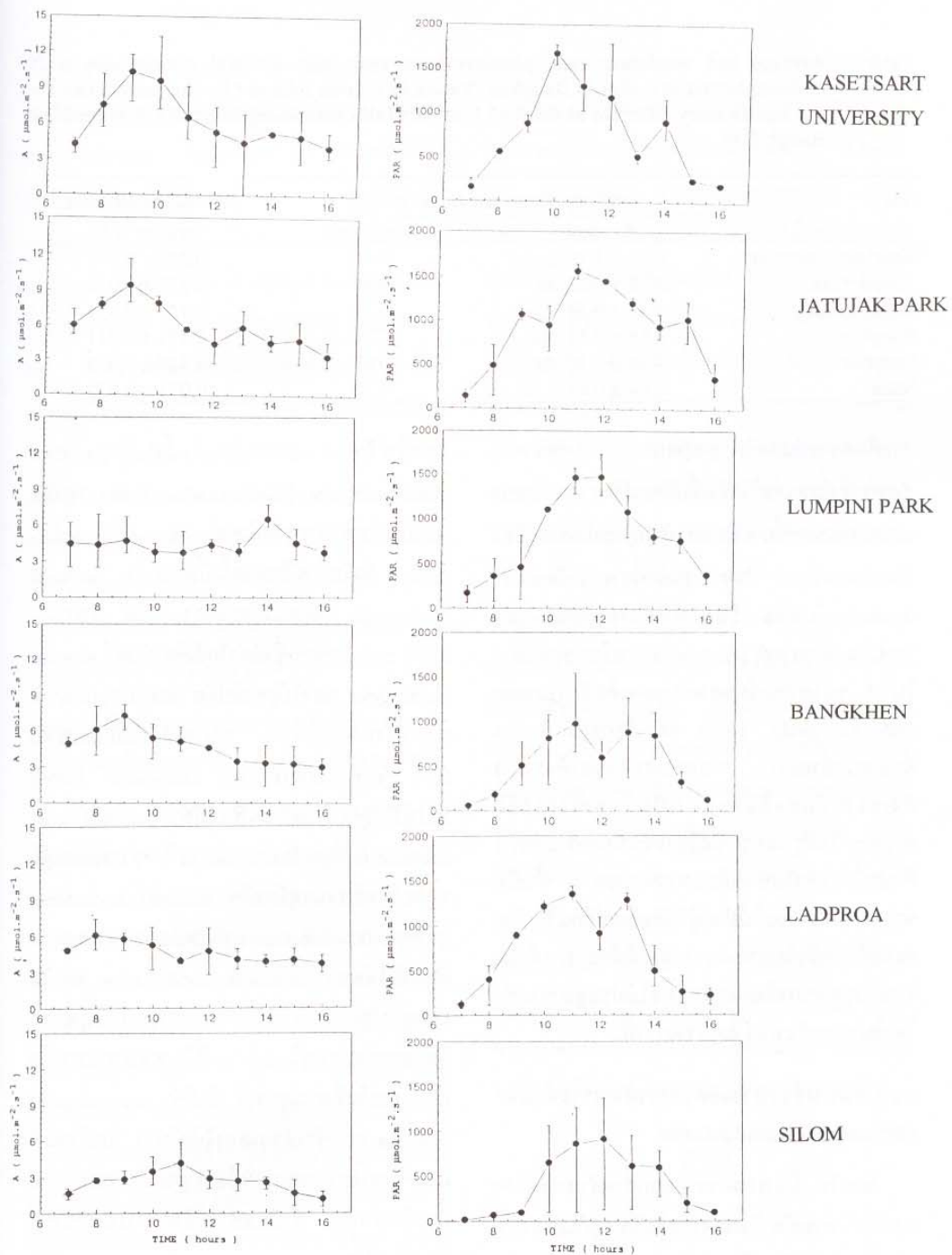


Figure 3. Diurnal courses of net photosynthetic rate and photosynthetic active radiation (PAR), of *P. indicus* planted at 6 sites in Bangkok.

Table 3. Average and maximum daily photosynthetic rates and stomatal conductance of *P. indicus* planted at 6 sites in Bangkok. Values in column followed by the same letter are not significantly different at the 0.01 level of significance using Duncan's New Multiple Range Test

Site	photosynthetic rate ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		Stomatal conductance ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
	Average	Maximum	
Kasetsart University	6.21 ± 1.70 a	10.29	0.218 ± 0.070
Jatujak Park	5.99 ± 0.22 ab	9.46	0.274 ± 0.050
Lumpini Park	4.42 ± 0.49 c	6.51	0.122 ± 0.034
Bangkhen	4.66 ± 0.31 abc	7.33	0.151 ± 0.041
Ladprao	4.56 ± 0.36 bc	6.60	0.119 ± 0.029
Silom	2.64 ± 0.67 d	4.18	0.071 ± 0.020

การสังเคราะห์แสงมีค่าสูงสุดแล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงจะไม่เพิ่มขึ้นอีกแม้ว่าความเข้มของแสงจะเพิ่มมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ สำหรับไม้ป่านั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงจะเริ่มคงที่ที่ความเข้มของแสงระหว่าง $600\text{--}1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ หรือประมาณ 1 ใน 3 ของความเข้มของแสงแดดเต็มที่ (Kramer และ Kozlowski, 1979) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้พบว่า การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงที่มีต่อแสงเป็นไปอย่างกระจัดกระจาย ไม่มีรูปแบบ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าการศึกษานี้กระทำในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงหน้าแล้ง และไม้ประดู่กำลังเริ่มเปลี่ยนใบ กิจกรรมด้านสรีรวิทยาต่างๆ อาจจะมีน้อย การศึกษาในช่วงฤดูการเจริญเติบโตของไม้ประดู่อาจจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ที่เด่นชัดกว่านี้

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงและ stomatal conductance

ปากใบ เป็นทางผ่านเข้าออกสำหรับก๊าซต่างๆ และน้ำ การเปิด-ปิดของปากใบขึ้นอยู่กับเซลล์ควบคุม เมื่ออากาศมีมลพิษทางอากาศมาก การเปิดของปากใบจะทำให้มลพิษเหล่านั้นเข้าไปสู่ใบได้มากขึ้นด้วย ในบางครั้งจะพบว่าต้นไม้มีการปิดของปาก

ใบเพื่อป้องกันมลพิษเหล่านั้นเข้าสู่อากาศ (Kozlowski และ Constantinidou, 1986) การเปิดของปากใบสามารถวัดด้วยค่า stomatal conductance ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าค่า stomatal conductance ของไม้ประดู่อยู่ระหว่าง $0.071\text{--}0.274 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า stomatal conductance ของไม้ยูคาลิปตัส และไม้สะแกนา ที่ปลูกที่จังหวัดขอนแก่น บริเวณที่มีดินเค็มและดินปกติ ซึ่งทำการศึกษาโดย Luangjame (1990) ประดู่ที่ปลูกบริเวณถนนสีลมมีค่า stomatal conductance ต่ำที่สุด ($0.071 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) และประดู่ที่ปลูกบริเวณสวนจตุจักรมีค่า stomatal conductance สูงที่สุด ($0.274 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Table 3) จากผลการศึกษาที่ได้พบว่า stomatal conductance ของไม้ประดู่ที่ปลูกในบริเวณที่มีมลพิษทางอากาศมาก จะมีค่าต่ำกว่าประดู่ในบริเวณที่มีมลพิษทางอากาศน้อย ยกเว้นที่สวนลุมพินี ซึ่งมีค่า stomatal conductance ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่า ในบริเวณที่มีมลพิษทางอากาศมาก ไม้ประดู่จะมีความพยายามที่จะปิดปากใบ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงน้อยด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ stomatal conductance จะเห็นว่ามีทิศทางเช่นเดียวกับอัตราการ

สังเคราะห์แสง และเมื่อนำค่าทั้งสองมาหาความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง (linear regression) จะพบว่าค่า stomatal conductance มีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสงเป็นแบบเส้นตรงไปในทิศทางเดียวกัน ($p < 0.05$) คือเมื่อค่า stomatal conductance เพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นด้วย (Figure 4) ยกเว้นที่ลาดพร้าว และสวนจตุจักร ซึ่งจะไม่พบค่าความสัมพันธ์ดังกล่าว ทั้งนี้ อาจจะเนื่องมาจากว่ามีความผันแปรของปัจจัยภายนอกอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย อย่างไรก็ตาม Clough และ Sim (1989) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าค่าความลาดชันของความสัมพันธ์ระหว่าง stomatal conductance และอัตราการสังเคราะห์แสง จะเป็นค่าที่บอกลักษณะประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (water use efficiency) ของต้นไม้ได้

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของไม้ประดับที่ปลูกในบริเวณต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร ทำให้สามารถวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณที่ทำการศึกษได้จาก Figure 5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงและปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะเห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณถนนสีลม และลาดพร้าว มีค่าค่อนข้างสูง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 400-550 ppm ในขณะที่พื้นที่อื่นๆ มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 370-480 ppm (ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปกติมีค่าเท่ากับ

330 ppm) โดยปกติแล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงของพันธุ์ไม้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (Kramer และ Kozlowski, 1979; Atipanumpai, 1989) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ผลไปในทางตรงข้าม คือไม้ประดับจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูงนั้น ยังมีมลพิษทางอากาศชนิดอื่นๆ ด้วย ที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของไม้ประดับลดลง เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และฝุ่นละออง เป็นต้น ผลกระทบของมลพิษทางอากาศที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์แสงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของมลพิษของอากาศ ปัจจัยแวดล้อม ชนิดของพันธุ์ไม้ ตลอดจนลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งผลกระทบของมลพิษของอากาศนี้ จะเกิดขึ้นกับระบบสรีรวิทยาของพันธุ์ไม้ก่อนที่จะมีลักษณะภายนอกปรากฏออกมาให้เห็น (Kozlowski และ Constantinidou, 1986) การศึกษาถึงผลกระทบของมลพิษของอากาศต่อระบบสรีรวิทยาของต้นไม้ นั้น ควรจะกระทำในห้องควบคุม เพื่อจะได้ทราบถึงผลกระทบของมลพิษแต่ละชนิด อย่างไรก็ตาม การศึกษาในห้องควบคุมจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก การศึกษาในพื้นที่จริงสามารถกระทำได้ง่าย และรวดเร็ว

สรุป

การศึกษากการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ประดับที่ปลูกในเขตเมืองโดยศึกษาในกรณีของไม้ประดับที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานคร 6 แห่ง

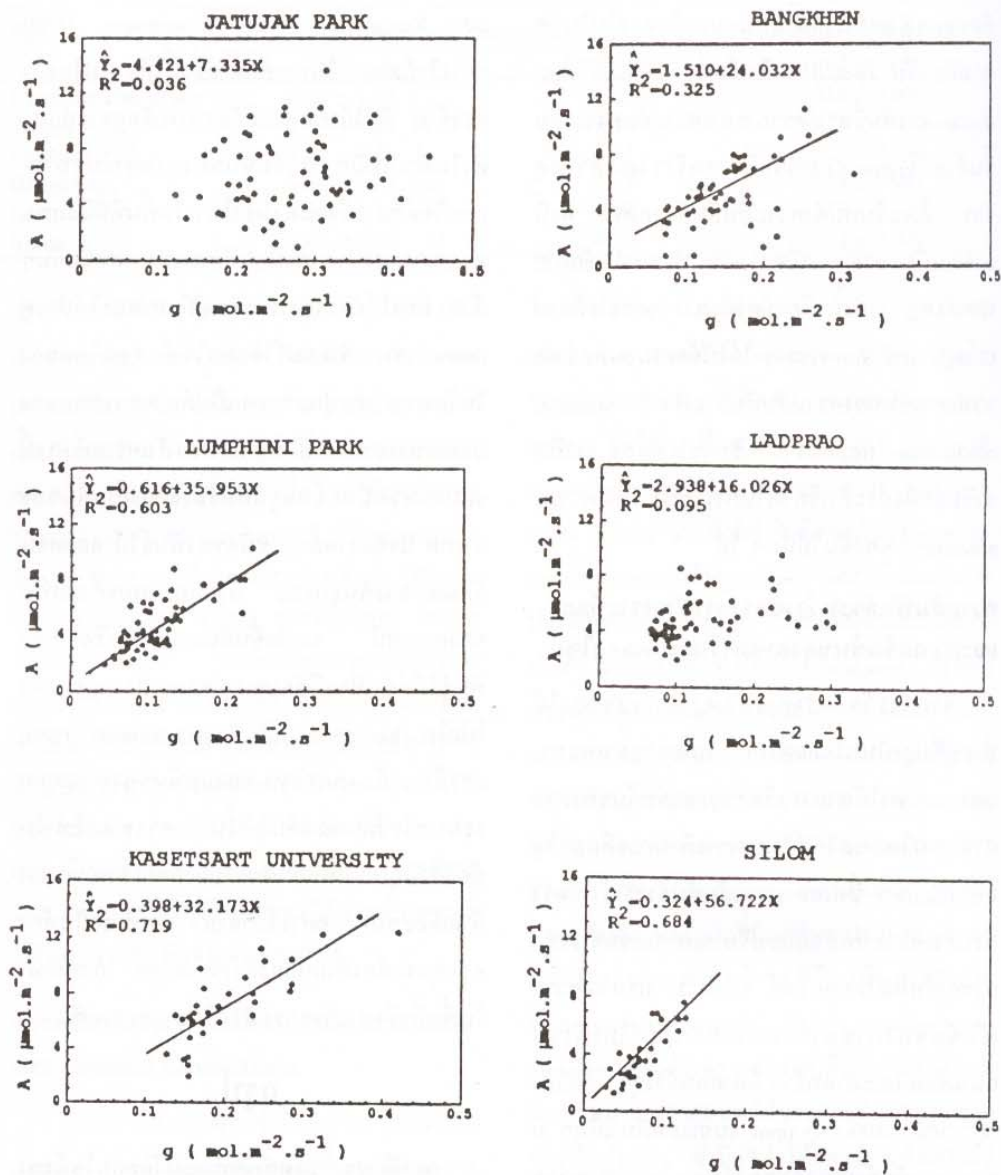


Figure 4. Correlation between net photosynthetic rate (A) and stomatal conductance (g) of *P. indicus* planted at 6 sites in Bangkok. Each data set included only the leaves exposed to irradiance above $600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

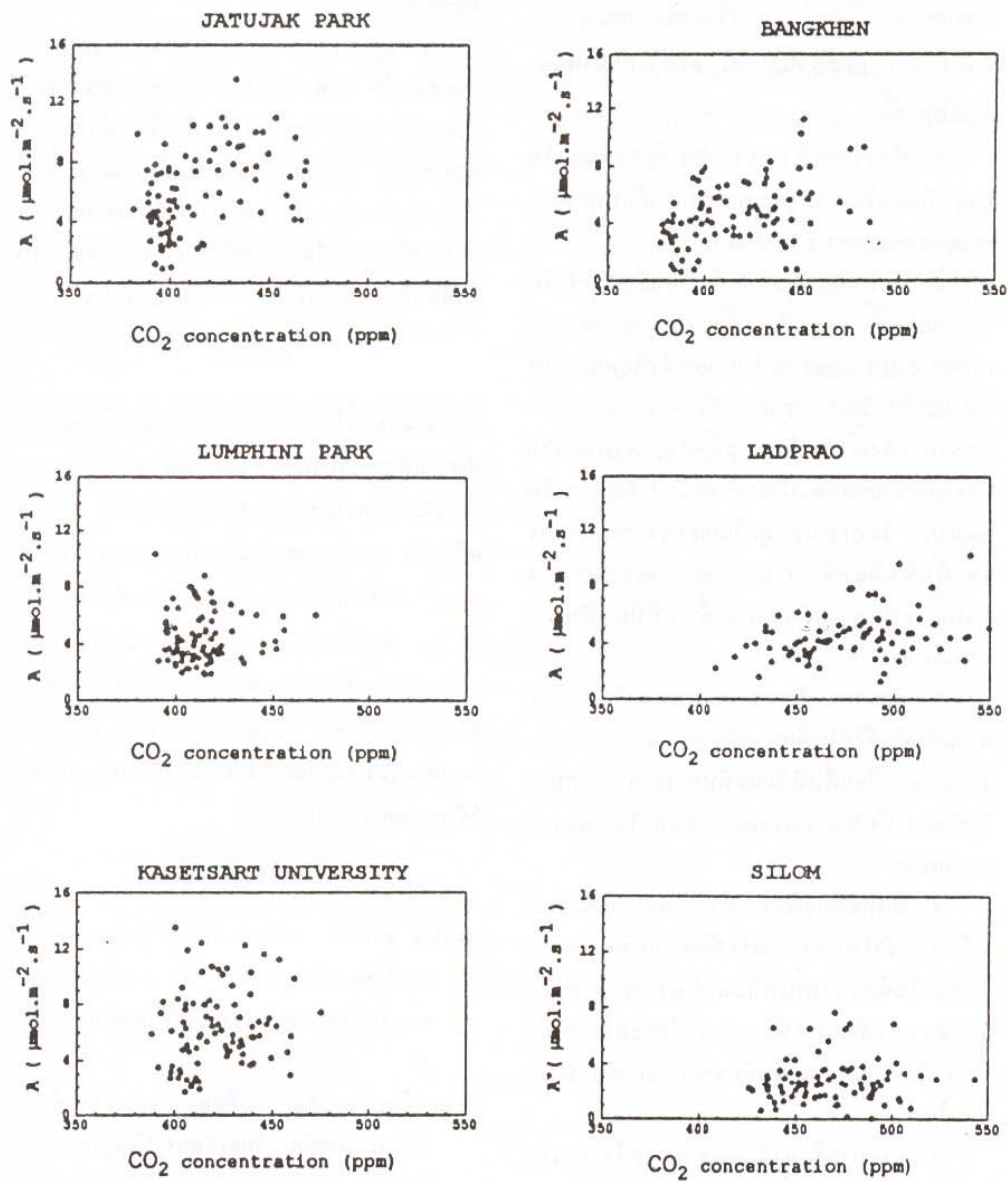


Figure 5. Response of net photosynthetic rates (A) to carbon dioxide concentration of *P. indicus* planted at 6 sites in Bangkok.

โดยแบ่งเป็นเขตที่มีมลพิษทางอากาศมาก ได้แก่ สี
ลม ลาดพร้าว และบางเขน และเขตที่มีมลพิษทาง
อากาศน้อย ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สวนจตุจักร และสวนลุมพินี ผลการศึกษาพอจะ
สรุปได้ดังนี้

1. อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้
ประดับที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานครเกือบทุกพื้นที่
จะอยู่ระหว่างเวลา 8.00-9.00 น.

2. อัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยประจำวัน
ของไม้ประดับที่สูงที่สุดที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เท่ากับ $6.214 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และต่ำที่สุดที่ถนนสี
ลม เท่ากับ 2.627 เท่ากับ $6.214 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
อัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยประจำวันของไม้
ประดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p < 0.01$) ในทุกพื้นที่ปลูกในเขตกรุงเทพมหานคร
โดยพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากจะมีอัตราการ
สังเคราะห์แสงเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่ที่มีมลพิษทาง
อากาศน้อย

3. อัตราการสังเคราะห์แสงของไม้ประดับมี
ความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ stomatal con-
ductance โดยพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากปาก
ใบมีแนวโน้มที่จะเปิดน้อยกว่าพื้นที่ที่มีมลพิษทาง
อากาศน้อย

4. พื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมาก (สีลม ลาด
พร้าว) มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอน-
ไดออกไซด์สูงกว่าพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย
แต่อัตราการสังเคราะห์แสงของไม้ประดับไม่ได้เพิ่ม
ขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนได-
ออกไซด์

5. จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบ
ของไม้ประดับพบว่า พื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมาก
จะมีแผ่นใบบางกว่า และลักษณะโครงสร้างภายใน
ใบประกอบด้วย spongy parenchyma ทำให้มีช่อง
อากาศมากกว่าพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศน้อย นอก

จากนั้นยังพบผลึกเป็นจำนวนมากด้วย แต่ลักษณะ
โครงสร้างของใบแบบ sun leaf และ shade leaf
ไม่มีความแตกต่างกัน

6. จากการศึกษาจำนวนของปากใบของไม้
ประดับพบว่า พื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศมากจะมี
จำนวนของปากใบน้อยกว่าพื้นที่ที่มีมลพิษทาง
อากาศน้อย โดยมีจำนวนปากใบผันแปรตั้งแต่
153-173 ปากใบ/มม.² แต่ความแตกต่างดังกล่าวไม่
มีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับขนาดของปากใบนั้น
ไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างพื้นที่ที่ปลูก

คำนิยม

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและ
พัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี 2535
งานวิจัยชิ้นนี้คงไม่สามารถสำเร็จลงไปได้ หากขาด
เครื่องมือ Portable Photosynthesis System (LICOR
6200) ที่ใช้ในการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของต้น
ไม้ ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่ได้รับเงิน
สนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มี
ดร. สุรีย์ ภูมิภมร เป็นหัวหน้าโครงการ ผู้เขียนขอ
ขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ที่กรุณาให้ยืมเครื่องมือเพื่อ
ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ตลาดวัลย์ พวงจิตร์. 2534. การสังเคราะห์แสงและการ
หายใจของกล้าไม้กระถินเทพา. 2. ความแตกต่าง
ระหว่างถิ่นกำเนิด. วารสารวนศาสตร์ 10(1) : 1-
11.
- อัจฉรา ไตรเพิ่ม. 2520. การศึกษา stomata ของพืชป่า
ชายเลนบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขา
ชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตร
ศาสตร์. 52 หน้า
- Atipanumpai, L. 1989. *Acacia mangium*: Studies
on the genetic variation in ecological and
physiological characteristics of fast-

- growing plantation tree species. Acta For. Fenn. 206 : 92 p.
- Bennett, J. P., P. Rassat, P. Berrand and D. F. Karnosky. 1992. Relationships between leaf anatomy and ozone sensitivity of *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. *Prunus serotina* Ehrh. Env. and Exp. Bot. 32(1) : 33-41.
- Johansen, D. A. 1940. Plant Microtechniques. McGraw-Hill Book Company. New York. 523 p.
- Luangjame, J. 1990. Salinity effects in *Eucalyptus camaldulensis* and *Combretum quadrangulare* ecophysiological and morphological studies. Acta For. Fenn. 214. 105 p.
- Metcalfe, C. R. and L. Chalk. 1972. Anatomy of the Dicotyledons Vol. I. Leaves Stem and Wood in Relation to Taxonomy with Notes on Economics Uses. Clarendon Press. Oxford. 724 p.
- Kozlowski, T. T. and H. A. Constantinidou. 1986. Environmental pollution and tree growth. Part II. Factors affecting responses of pollution and alleviation of pollution effects. For. Abstr. 47 : 105-132.
- Kramer, P. J. and T. T. Kozlowski. 1979. Physiology of Woody Plants. Academic Press, New York. 811 p.
- Osborn, J. M. and T. N. Taylor. 1990. Morphological and ultrastructural studies of plant cuticular membranes. I. Sun and shade leaf of *Quercus velutina* (Fagaceae). Bot. Gaz. 151(4) : 465-467.
- Smith, W. H. 1990. Air Pollution and Forests : Interaction between Air Contaminant and Forest Ecosystems. 2 ed. Springer-Verlag, New York. 616 p.