Thai J. For. 15 : 118-131 (1996)

วารสารวนศาสตร์ 15 : 118-131 (2539)

ลักษณะโครงสร้างใบและอัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ประดับยืนต้นบางชนิด

LEAF STRUCTURE AND PHOTOSYNTHETIC RATE OF SOME ORNAMENTAL SEEDLINGS

ลดาวัลย์ พวงจิตร[1]

ธเนศ เสียงสุวรรณ์[2]

Ladawan Puangchit

Tanet Sengsuwan

ABSTRACT

Studies on leaf structure and photosynthetic rate of ornamental tree seedlings were carried out with 6 ornamental trees species found in Bangkok Metropolitan. The experimental seedlings were 12-18 month-old, including *Pterocarpus macrocarpus, Mimusops elengi, Lagerstroemia speciosa, Cassia fistula, Tamarindus indica* and *Ficus altissiama.* Leaf structure, stomatal number, stomatal size and distribution as well as diurnal and seasonal variations of photosynthetic rate and photosynthetic light response were determined.

The results showed that leaf structure were different among species. Stomata of most species studied were hypostomatic type except *Tamarindus indica* which showed amphistomatic stomata. Stomatal frequency of *Ficus altissiama showed* the highest number, and *Mimusops elengi* showed the lowest. The biggest stomatal size was also found in *Ficus altissiama,* while *Tamarindus indica* showed the smallest size of stomata. Stomatal distributions were different among species.

Study on photosynthetic rates of seedlings showed that diurnal patterns of net photosynthesis were similar in all species studied. Net photosynthesis measured in May were statistically higher than the rates measured in December for most species except *Ficus altissiama* and *Mimusops elengi.* Photosynthesis showed statistically response to light in all species studied. The light saturation points were between 350-650 μmol/m^2/s, and were higher in the morning than in the afternoon.

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบ และอัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ประดับยืนต้นครั้งนี้ ได้ทำการศึกษากับกล้าไม้ประดับที่พบในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ประดู่ป่า พิกุล อินทนิลน้ำ ชัยพฤกษ์ มะขาม และไทรใบทอง อายุระหว่าง 12-18 เดือน โดยทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบ จำนวน ขนาด และการกระจายของปากใบ ความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงวันของแต่ละฤดูกาล และการตอบสนองต่อปริมาณความเข้มแสงของกล้าไม้

ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะโครงสร้างของใบแตกต่างกันในใบไม้แต่ละชนิด กล้าไม้ส่วนมากมีปากใบเป็นแบบ hypostomatous ยกเว้นมะขามเป็นแบบ amphistomatous จำนวนปากใบต่อพื้นที่มีมากที่สุดในไทรใบทอง และมีน้อยที่สุดในพิกุล ขนาดของปากใบที่วัดตามความยาวของปากใบใหญ่ที่สุดในไทรใบทอง และเล็กที่สุดในมะขาม โดยมีการกระจายของปากใบบนผิวใบแตกต่างกันไปตามชนิดไม้

จากการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้พบว่า การสังเคราะห์แสงสุทธิของกล้าไม้ในช่วงวันมีแนวโน้มคล้ายคลึงกันในกล้าไม้ทุกชนิด อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในเดือนพฤษภาคมมีค่าสูงกว่าในเดือนธันวาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกล้าไม้เกือบทุกชนิดยกเว้นกล้าไม้ไทรใบทองและพิกุล อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มของแสง และมีความเข้มแสงอิ่มตัวที่ระหว่าง 350-650 μmol/m^2/s และความเข้มแสงอิ่มตัวในช่วงเช้าจะสูงกว่าในช่วงบ่าย

[1] คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

[2] สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ กรมป่าไม้ จตุจักร กทม. 10900

คำนำ

พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถพิเศษคือมีความสามารถในการผลิตและสังเคราะห์อาหารขึ้นมาเองได้โดยผ่านขบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นขบวนการในการนำเอาคาซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศรวมตัวกับน้ำ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เกิดเป็นสารประกอบคาร์บอน น้ำ และออกซิเจน ซึ่งพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืช ขบวนการสังเคราะห์แสงส่วนมากจะเกิดขึ้นในใบไม้ เนื่องจากใบไม้มีปากใบ (stomata) อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งปากใบนี้เป็นทางผ่านเข้าออกของคาซระหว่างอากาศและภายในต้นไม้ นอกจากนั้นใบไม้ยังประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ซึ่งมีความสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์แสงอยู่เป็นจำนวนมากด้วย

เนื่องด้วยพรรณไม้แต่ละชนิดมีอัตราการสังเคราะห์แสงแตกต่างกัน ทำให้มีความสามารถในการดูดซับคาซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ต่างกัน ความสามารถหรือประสิทธิภาพในการดูดซับคาซคาร์บอนไดออกไซด์นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของพรรณไม้แล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ที่พรรณไม้นั้นๆ ขึ้นอยู่ด้วย ดังนั้น การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงจึงเป็นความรู้พื้นฐานอีกด้านหนึ่งของพรรณไม้ในการพิจารณาคัดเลือกชนิดพรรณไม้ที่เหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่และสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบัน ตามเขตเมืองใหญ่ๆที่มีผู้คนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น และมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่นเขตกรุงเทพมหานคร มักจะประสบกับปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ อันเนื่องมาจากยวดยานพาหนะ ตลอดจนกิจกรรมต่างๆ ของผู้คน การปลูกต้นไม้ในเขตเมือง เช่นตามถนนหนทาง นอกจากจะเพิ่มความสวยงามแล้ว ยังสามารถช่วยลดมลพิษในอากาศได้ด้วย เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของต้นไม้ที่สามารถดูดคาซคาร์บอนไดออกไซด์ และปล่อยคาซออกซิเจนออกมา อย่างไรก็ตาม ความรู้พื้นฐานต่างๆ เกี่ยวกับพรรณไม้ประดับที่นิยมปลูกในเขตเมืองนั้นยังมีน้อยมาก

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของใบ ลักษณะ จำนวน และขนาดของปากใบ ตลอดจนอัตราการสังเคราะห์แสง และการตอบสนองต่อแสง ของกล้าไม้ประดับยืนต้นจำนวน 6 ชนิด ที่นิยมปลูกในเขตกรุงเทพมหานครได้แก่ ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*) พิกุล (*Mimusops elengi*) อินทนิลน้ำ (*Lagerstroemia speciosa*) ชัยพฤกษ์ (*Cassia fistula*) มะขาม (*Tamarindus indica*) และ

ไทรใบทอง (*Ficus altissiama*) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการคัดเลือกพรรณไม้ที่เหมาะสมจะใช้ปลูกในเขตเมืองต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบและอัตราการแลกเปลี่ยนกาซครั้งนี้ ได้ทำการศึกษา ณ เรือนเพาะชำคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทำการศึกษากับกล้าไม้ประดับจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ประดู่ป่า พิกุล อินทนิลน้ำ ชัยพฤกษ์ มะขาม และไทรใบทอง อายุระหว่าง 12-18 เดือน

ทำการคัดเลือกกล้าไม้ประดับทั้ง 6 ชนิด ชนิดละ 6 ต้น โดยคัดเลือกกล้าไม้ที่มีสภาพสมบูรณ์ มีความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร มีขนาดความโต และมีจำนวนใบที่ใกล้เคียงกัน ย้ายกล้าไม้ลงปลูกในกระถางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว รดน้ำให้กับกล้าไม้ทุกวัน จนกล้าไม้มีความสมบูรณ์และแข็งแรงจึงเริ่มทำการศึกษา

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบและปากใบ

สุ่มตัวอย่างใบที่พัฒนาเต็มที่บริเวณส่วนกลางเรือนยอดของกล้าไม้ตัวอย่าง ชนิดละ 5 ใบ เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบ โดยวิธีการทำสไลด์ถาวรของ Johansen (1940) ทำการสุ่มตัวอย่างใบแบบเดียวกันอีก 5 ใบ เพื่อศึกษาลักษณะของปากใบด้วยวิธีการพิมพ์ลายใบด้วยสารละลาย buthyl acetate (น้ำยาทาเล็บ) ในการพิมพ์ลายใบนั้น จะแยกระหว่างผิวใบด้านหน้า (adaxial) และด้านหลัง (abaxial) โดยในแต่ละด้านของผิวใบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนปลาย (apex) ส่วนกลาง (middle) และส่วนฐานใบ (base) ทำการวัดขนาดความยาว และนับจำนวนของปากใบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยแต่ละส่วนจะใช้จำนวน 10 microscopic fields

การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสง

ทำการวัดอัตราการการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ด้วยเครื่อง Portable Photosynthesis System (ADC-3) ซึ่งใช้ระบบการวัดแบบระบบเปิด (open system) ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงจากใบที่พัฒนาเต็มที่แล้ว และมีสภาพสมบูรณ์ของกล้าไม้ตัวอย่าง จำนวนต้นละ 3 ใบ บันทึกค่าอัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ทุกชนิดทุกๆ ชั่วโมง ระหว่างเวลา 06.00-18.00 น. แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง คือ เดือนพฤษภาคม และเดือนธันวาคม โดยในแต่ละช่วงจะทำการบันทึกข้อมูล 3 วัน

การศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณความเข้มแสง

สุ่มตัวอย่างใบของกล้าไม้ตัวอย่างเช่นเดียวกับการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสง ทำการบันทึกค่าอัตราการสังเคราะห์แสงของตัวอย่างใบเมื่อใบได้รับแสงเต็มที่ความเข้มแสงสูงสุด หลังจากนั้นทำการลดปริมาณความเข้มของแสงลงทีละน้อย โดยการใช้ผ้าขาวบางพรางใบของกล้าไม้ บันทึกค่าอัตราการสังเคราะห์แสงที่ระดับความเข้มของแสงต่างๆ ลดความเข้มของแสงลงจนกระทั่งความเข้มของแสงมีค่าเท่ากับ 0 $\mu mol/m^2/s$ ซึ่งค่าที่วัดได้ ณ จุดนั้นคือค่าอัตราการหายใจในที่มืด (dark respiration) ของใบ ทำการบันทึกค่าในลักษณะดังกล่าว 2 ช่วง คือ ช่วงเช้า (09.00-11.00 น.) และช่วงบ่าย (13.00-15.00 น.) วิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงโดยใช้สมการสัมพันธ์เส้นโค้งของ Long และ Hallgren (1993) ดังนี้

$$A = \frac{Asat \times Q}{K_Q + Q}$$

เมื่อ A = อัตราการสังเคราะห์แสง

Q = ความเข้มแสง

Asat = อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ความเข้มแสงอิ่มตัว

K_Q = ค่าคงที่

ผลและวิจารณ์ผล

ลักษณะโครงสร้างของใบ

ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทั่วไปของใบไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิด สามารถเปรียบเทียบสรุปได้ ดังแสดงใน Table 1 จากการศึกษาพบว่าลักษณะของโครงสร้างของใบบางประการคล้ายคลึงกัน และลักษณะบางประการผันแปรแตกต่างกัน โครงสร้างของใบที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ ความหนาของใบ ใบที่มีความหนาของแผ่นใบมากที่สุด ได้แก่ ใบไม้ไทรใบทอง มีความหนาของแผ่นใบ 326.0 ไมครอน ซึ่งภายในประกอบด้วยเซลต่างๆ หนาแน่นมาก นอกจากนั้นในชั้นเซลผิวใบทั้งด้านบนและด้านล่าง ยังปรากฏเซลลักษณะพิเศษเป็นผลึกของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตที่เรียกว่า cytolith ใบของอินทนิลน้ำ และพิกุล มีความหนาของแผ่นใบปานกลาง แต่ความหนาแน่นของเซลภายในใบพิกุลมากกว่าของอินทนิลน้ำ ส่วนใบของไม้ประดับยืนต้นที่มีความหนาของแผ่นใบน้อยที่สุด ได้แก่ ใบของกล้าไม้ชัยพฤกษ์

ชั้น mesophyll ของใบไม้ประดับยืนต้นที่ศึกษาเกือบทุกชนิดเป็นแบบ bifacial ยกเว้นใบของไม้ไทรใบทองที่มีชั้น mesophyll เป็นแบบ unifacial จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนของ palisade parenchyma ของใบไม้ประดับยืนต้นที่ทำการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีสัดส่วนระหว่าง 29.74-48.48 เปอร์เซนต์ของความหนาใบ ใบของไม้ประดับยืนต้นที่มีส่วนของ palisade parenchyma มากที่สุดได้แก่ ใบมะขาม รองลงมาได้แก่ ใบอินทนิลน้ำ ไทรใบทอง ชัยพฤกษ์ ประดู่ป่า และพิกุลมีสัดส่วนของ palisade parenchyma น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนของ palisade parenchyma กับสัดส่วนของ spongy parenchyma ซึ่งเป็นสัดส่วนสำคัญที่ทำให้โอกาสในการแลกเปลี่ยนกาซระหว่างบรรยากาศภายนอกและภายในใบในขบวนการสังเคราะห์แสง และการคายน้ำแตกต่างกัน (Esau 1967) ผลการศึกษาพบว่า ใบมะขามมีสัดส่วนของ palisade parenchyma มากกว่า spongy parenchyma ส่วนใบพิกุล ประดู่ป่า และชัยพฤกษ์ มีสัดส่วนของ palisade parenchyma น้อยกว่า spongy parenchyma สำหรับใบอินทนิลน้ำ และไทรใบทองนั้นมีสัดส่วนของ palisade parenchyma ใกล้เคียงกับ spongy parenchyma ความแตกต่างของลักษณะทางกายวิภาคต่างๆ ของใบ เช่น ความหนาของแผ่นใบ ลักษณะของเซลผิวใบ และลักษณะพิเศษอื่นๆ นั้น พบว่ามีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนกาซของใบด้วย (Walters และ Bartolomew 1984)

ลักษณะของปากใบ

จากการศึกษาลักษณะของปากใบของไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิด พบว่า การปรากฏของ

ปากใบไม้ประดับยืนต้นที่ทำการศึกษาเกือบทั้งหมดเป็นแบบ hypostomatous คือมีปากใบปรากฏทางด้านหลังใบเพียงด้านเดียว ยกเว้นใบไม้มะขามที่มีปากใบปรากฏทั้งด้านหน้าใบ และด้านหลังใบ คือเป็นแบบ amphistomatous ลักษณะของ mesophyll กับการปรากฏของปากใบในการศึกษาครั้งนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาของชมภูนุช (2531) ซึ่งได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างของใบไม้จำนวน 8 ชนิด และสรุปว่าใบที่มีลักษณะโครงสร้างของ mesophyll เป็นแบบ bifacial จะมีปากใบปรากฏเพียงด้านเดียว ส่วนใบแบบ unifacial ปากใบจะปรากฏอยู่ทั้งสองด้าน

ขนาดและจำนวนของปากใบต่อพื้นที่มีความผันแปรแตกต่างกันระหว่างชนิดไม้ (Table 1) ใบที่มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่เฉลี่ยมากที่สุดคือ ไทรใบทอง มีจำนวนปากใบเฉลี่ย 193 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร รองลงมาได้แก่ มะขาม อินทนิลน้ำ ประดู่ป่า ชัยพฤกษ์ และพิกุล ซึ่งมีจำนวนปากใบเฉลี่ยเท่ากับ 189, 185 ,176, 112 และ 103 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของจำนวนปากใบของไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิดนี้ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับขนาดของปากใบซึ่งวัดจากความยาวของช่องปากใบของไม้ทั้ง 6 ชนิด ก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกัน (Table 1) และไทรใบทองซึ่งมีจำนวนปากใบต่อพื้นที่ใบมากที่สุดนั้น มีความยาวเฉลี่ยของปากใบมากที่สุด คือ 23.1 ไมครอน รองลงมาได้แก่ พิกุล ประดู่ป่า อินทนิลน้ำ ชัยพฤกษ์ และมะขาม มีความยาวของปากใบเฉลี่ยเท่ากับ 22.4, 20.5, 19.6, 19.1 และ 15.5 ไมครอน ตามลำดับ โดยปกติแล้วมักพบว่าใบที่มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่ใบน้อยจะมีขนาดปากใบใหญ่กว่าใบที่มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่ใบมาก (Cutler 1972) อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าว โดยปกติแล้วฤดูกาลจะไม่มีผลต่อจำนวนปากใบของไม้แต่ละชนิด (ชมภูนุช 2531) แต่จำนวนปากใบของไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันระหว่าง sun leaf และ shade leaf (สาพิศ และลดาวัลย์ 2538)

การกระจายของปากใบนั้น โดยปกติจะมีการกระจายทั่วทั้งแผ่นใบ ยกเว้นบริเวณเส้นกลางใบ แต่จากการศึกษาของ Ticha (1982) พบว่าการกระจายของปากใบมีความผันแปรแตกต่างกันไม่มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งผิวใบ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการพัฒนาของใบไม่มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งใบ หรือเป็นเพราะมีการขยายขนาดของใบไม่เท่ากัน ไม้บางชนิดจะมีการกระจายของปากใบในลักษณะเป็นกลุ่มๆ ภายในใบ นอกจากนั้นเส้นใบและขน ก็มีส่วนทำให้การกระจายของปากใบแตกต่างกันไปด้วย (Weyers และ Mediner 1990) สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบว่า ไม้แต่ละชนิดมีการกระจายของปากใบแตกต่างกัน (Figure 1) ใบมะขาม และพิกุล มีการกระจายของปากใบในแต่ละส่วนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ไทรใบทองมีจำนวนปากใบบริเวณปลายใบและกลางใบมากกว่าฐานใบ ($p<0.05$) อินทนินน้ำ และชัยพฤกษ์ มีจำนวนปากใบบริเวณปลายใบน้อยที่สุด และมีจำนวนปากใบมากที่สุดบริเวณกลางใบ ($p<0.01$) ส่วนประดู่ป่ามีจำนวนปากใบน้อยที่สุดบริเวณกลางใบ และมีจำนวนปากใบมากที่สุด

Table 1. Some characteristics of leaves of six ornamental tree species

Leaf characteristics	*Pterocarpus macrocarpus*	*Mimusops elengi*	*Lagerstroemia speciosa*	*Cassia fistula*	*Tamarindus indica*	*Ficus altissiama*
Total leaf thickness (μm)	125.70 ± 12.63	201.50 ± 14.83	208.10 ± 12.63	113.00 ± 8.95	131.05 ± 8.78	326.00 ± 16.42
Adaxial epidermis width (μm)	16.08 ± 1.79	15.24 ± 3.27	26.12 ± 2.86	13.08 ± 2.15	20.08 ± 2.56	34.30 ± 35.21
Abaxial epidermis width (μm)	12.16 ± 2.56	10.84 ± 1.49	13.68 ± 3.17	9.68 ± 1.93	14.40 ± 2.00	30.90 ± 4.24
Mesophyll characteristics	bifacial	bifacial	bifacial	bifacial	bifacial	unifacial
'Adaxial palisade layer width (μm)	37.65 ± 4.55	59.70 ± 11.70	86.75 ± 13.63	37.054.96	63.35 ± 6.03	94.20 ± 12.52
Abaxial palisade layer width (μm)	-	-	-	-	-	23.90 ± 2.65
Palisade layer percentage (%)	30.09 ± 3.48	29.74 ± 5.86	41.64 ± 6.21	32.88 ± 4.29	48.48 ± 4.80	40.69 ± 5.54
Spongy mesophyll width (μm)	55.65 ± 8.33	98.15 ± 14.98	90.25 ± 12.78	50.65 ± 8.10	33.45 ± 7.85	109.70 ± 21.88
Spongy mesophyll percentage (%)	44.31 ± 4.73	48.56 ± 6.47	45.38 ± 5.58	44.48 ± 5.72	25.38 ± 5.79	41.13 ± 6.42
Type of stomata	hypostomatous	hypostomatous	hypostomatous	hypostomatous	amphistomatous	hypostomatous
Stomatal level	typical	sunken	typical	sunken	typical	sunken
Stomatal frequency (number/mm^2)	175.91 ± 20.71	103.10 ± 15.95	185.20 ± 20.63	112.45 ± 17.63	189.31 ± 27.05	192.37 ± 26.16
Stomatal size (μm)	20.54 ± 1.43	22.42 ± 2.19	19.62 ± 1.43	19.14 ± 2.02	15.48 ± 1.42	23.08 ± 2.07
Type of subsidiary cells	paracytic	anisocytic	anomocytic	paracytic	paracytic	paracytic
Special characteristics	uniserate trichome	-	-	unicellular trichome	bulliform cell	cytolith crystal

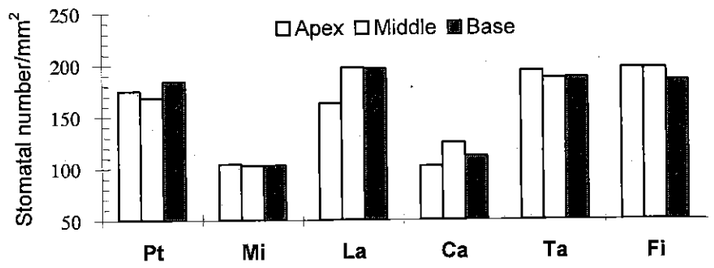


Figure 1. Stomatal frequencies in various parts of abaxial leaf surface of six ornamental tree species : Pt = *Pterocarpus macrocarpus*, Mi = *Mimusops elengi*, La = *Lagerstroemia speciosa*, Ca = *Cassia fistula*, Ta = *Tamarindus indica*, Fi = *Ficus altissiama*.

บริเวณฐานใบ ($p<0.01$) ซึ่งแตกต่างจากประดู่บ้านที่สาพิศ และลดาวัลย์ (2538) รายงานว่ามีการกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวใบ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 166 ถึง 177 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร

ความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงวัน

จากการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงวันของกล้าไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิด โดยทำการศึกษาในช่วงเวลาตั้งแต่ 06.00-18.00 น. ใน 2 ฤดูกาลคือ ในเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูกาลเจริญเติบโต และเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูกาลเจริญเติบโตของกล้าไม้ การสังเคราะห์แสงในช่วงวันของกล้าไม้มีความผันแปรแตกต่างกันตามชนิดไม้ ตลอดจนปัจจัยแวดล้อมภายนอกที่กล้าไม้อยู่

การสังเคราะห์แสงในช่วงวันของกล้าไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิด มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน โดยอัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเช้า (06.00-09.00 น.) เมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้แต่ละชนิดจะเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดในเวลาที่แตกต่างกัน ตั้งแต่เวลา 07.00 น. (พิกุล และมะขาม) 08.00 น. (ชัยพฤกษ์ อินทนิลน้ำ และไทรใบทอง) และ 09.00 น. (ประดู่ป่า) โดยมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดเท่ากับ 10.08, 9.14, 7.79, 7.26, 5.83, และ 3.65 $\mu mol/m^2/s$ ในกล้าไม้อินทนิลน้ำ ชัยพฤกษ์ ประดู่ป่า มะขาม ไทรใบทอง และพิกุล ตามลำดับ อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้พิกุลค่อนข้างต่ำและสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน เมื่อเปรียบเทียบกับกล้าไม้ชนิดอื่นๆ (Figure 2) ซึ่งโดยปกติในสภาพธรรมชาติ พิกุลจัดเป็นพันธุ์ไม้ที่มีการเจริญเติบโตช้า

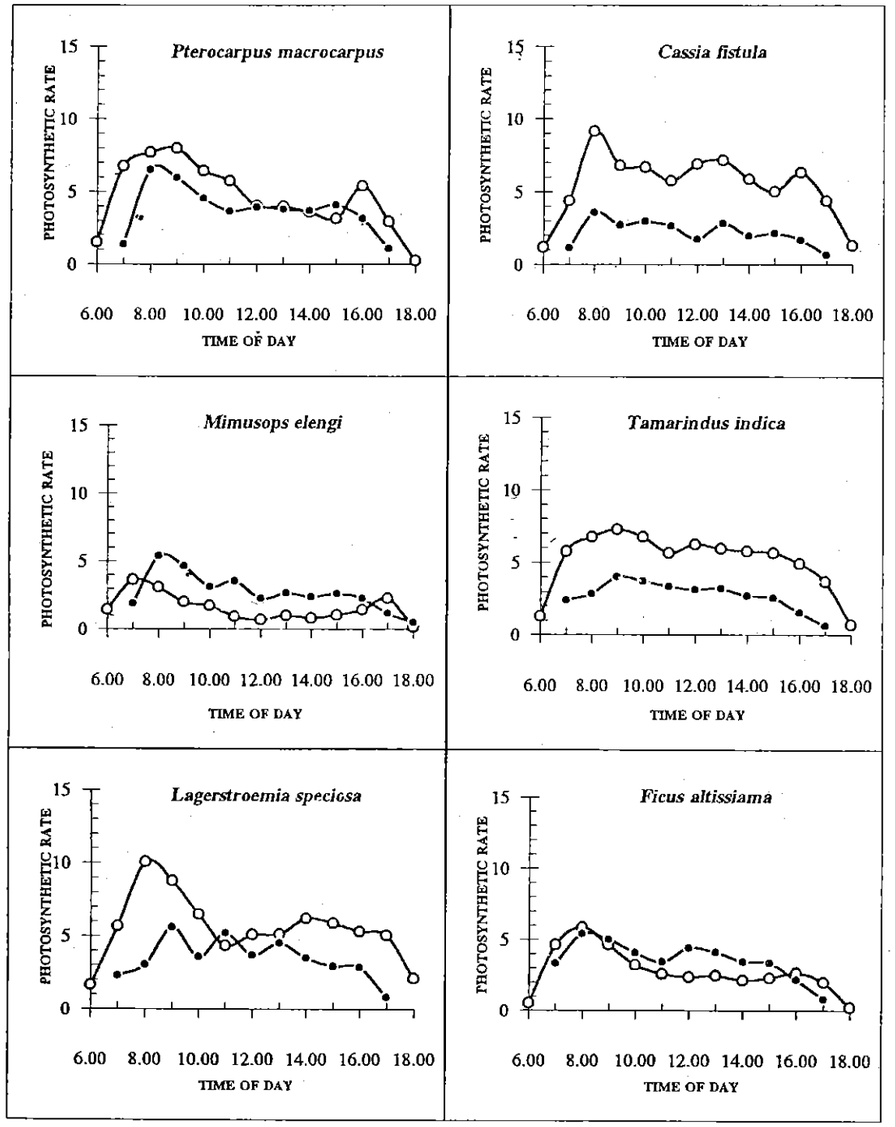


Figure 2. Diurnal variation in photosynthetic rates of 6 ornamental tree species measured in May (— o—) and December (— • —)

อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้แต่ละชนิดจะลดลงหรือคงที่เมื่ออัตราการสังเคราะห์แสงขึ้นถึงจุดสูงสุด การลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเที่ยงวันจึงปรากฏให้เห็นในกล้าไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิด และในกล้าไม้บางชนิดมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงบ่าย (ประดู่ป่า พิกุล และไทรใบทอง) ในขณะที่อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้บางชนิดจะเพิ่มสูงขึ้นอีกเล็กน้อย (ชัยพฤกษ์ มะขาม และอินทนิลน้ำ) อัตราการสังเคราะห์แสงจะเริ่มลดลงในช่วงก่อนเย็น (16.00 น.) และจะลดลงจนกระทั่งไม่มีแสง เป็นการสิ้นสุดการสังเคราะห์แสงในช่วงวันหนึ่งๆ (Figure 2)

รูปแบบการสังเคราะห์แสงในช่วงวันของกล้าไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิด ที่วัดใน 2 ฤดูกาล (เดือนพฤษภาคม และเดือนธันวาคม) มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน แต่อัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดในเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงปลายของฤดูกาลเจริญเติบโตจะมีค่าต่ำกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้ในเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นต้นฤดูกาลเจริญเติบโต ยกเว้นกล้าไม้พิกุล และไทรใบทอง (Figure 2) ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าไม้ทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นพันธุ์ไม้ไม่ผลัดใบ จึงมีการเจริญเติบโตค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงที่ทำการวัดใน 2 ฤดูกาลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในไม้มะขาม ชัยพฤกษ์ และอินทนิลน้ำ ($p<0.01$) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในพิกุล และประดู่ป่า ($p<0.05$) ส่วนไทรใบทองนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงของทั้ง 2 ฤดูกาลไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสง

แสงมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยปกติต้นไม้จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มมากขึ้น และเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นถึงจุดอิ่มตัว (light saturation point) อัตราการสังเคราะห์แสงจะค่อนข้างคงที่ ซึ่งถือเป็นอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้ชนิดนั้นๆ อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดจะแตกต่างกันไปตามชนิดไม้ โดยปกติแล้วความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเกิดขึ้นได้สูงสุดในไม้ยืนต้นมีค่าระหว่าง 600 - 800 $\mu mol/m^2/s$ (Clough และคณะ 1981)

การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณความเข้มแสงในกล้าไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิดที่ทำการศึกษานั้นพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ทุกชนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเมื่อกล้าไม้ได้รับแสง อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสง จนถึงที่ความเข้มของแสงระดับหนึ่งที่ทำให้กล้าไม้มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด คือที่จุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point) หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะค่อนข้างคงที่ (Figure 3)

จากการวิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงโดยใช้สมการความสัมพันธ์ของ Long และ Hallgren (1993) พบว่า กล้าไม้แต่ละชนิดจะมีการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงแตกต่างกันในระหว่างช่วงเช้า และช่วงบ่าย เนื่องจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความแตกต่างของความดันไอ เป็นต้น อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของกล้าไม้ประดับที่ประมาณได้จากสมการนั้นแตกต่างกันระหว่างชนิดไม้ และอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดในช่วงเช้าจะสูงกว่าช่วงบ่ายในกล้าไม้ทุกชนิด (Table 2) กล้าไม้ประดู่ป่ามีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด สูงที่สุดทั้งในช่วงเช้าและบ่าย (15.84 และ 9.29 $\mu mol/m^2/s$ ตามลำดับ) กล้าไม้พิกุลและไทรใบทอง มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่ำมากทั้งในช่วงเช้าและบ่าย (Figure 3, Table 2)

แนวโน้มของการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มของแสงในการศึกษาครั้งนี้คล้ายคลึงกับที่ Dreyer และ Daudet (1984) ได้ทำการศึกษากับไม้ walnut และรายงานว่า การตอบสนองต่อแสงของไม้ walnut นั้น อัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้าจะสูงกว่าในช่วงบ่าย ทั้งในต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในสภาพปกติ และในสภาพแห้งแล้ง นอกจากนั้น Ball และ Critchley (1982) ยังพบว่าใบที่ปกติได้รับแสงน้อย (shade leaf) จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ความเข้มแสงอิ่มตัวต่ำกว่าใบที่ปกติได้รับแสงเต็มที่ (sun leaf)

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะโครงสร้างของใบกับอัตราการสังเคราะห์แสง

เมื่อนำลักษณะโครงสร้างของใบเปรียบเทียบกับอัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ประดับทั้ง 6 ชนิดที่ทำการศึกษาพบว่ามีแนวโน้มที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะการเรียงตัวของชั้น mesophyll ช่องว่างระหว่างเซลภายในใบ ความหนาของใบ และระดับของปากใบ กล้าไม้ที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงทั้ง 3 ชนิด คือ ประดู่ป่า อินทนิลน้ำ และมะขาม จะมีลักษณะของ mesophyll เป็นแบบ bifacial ชั้น palisade parenchyma เรียงตัวไม่แน่นมากนัก spongy parenchyma มีการเรียงตัวอย่างหลวมๆ และมีช่องว่างระหว่างเซลขนาดใหญ่ปรากฏอยู่ ทำให้เซลมีการสัมผัสกับอากาศมากขึ้น ทำให้มีการแพร่กระจายของกาซเข้าสู่เซลมากขึ้น การปรากฏของปากใบของไม้ทั้ง 3 ชนิด พบว่าอยู่ในระดับเดียวกับผิวใบ ส่วนไม้ชัยพฤกษ์ซึ่งมีปากใบอยู่ต่ำกว่าระดับผิวใบนั้น มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดต่ำกว่า 3 ชนิดแรก

Table 2. Maximum photosynthetic rates of 6 ornamental species measured in the morning (09.00-11.00 h) and afternoon (13.00-15.00 h) estimated by using Long and Hallgren (1993) equation

	Morning		Afternoon	
	Maximum Photosynthetic rate	R^2	Maximum Photosynthetic rate	R^2
Pterocarpus macrocarpus	15.84	0.92	9.29	0.63
Mimusops elengi	4.89	0.82	0.56	<0.01
Lagerstroemia speciosa,	11.78	0.83	9.25	0.75
Cassia fistula	7.76	0.56	7.17	0.89
Tamarindus indica	10.32	0.52	8.08	0.76
Ficus altissiama	4.44	0.36	2.51	0.43

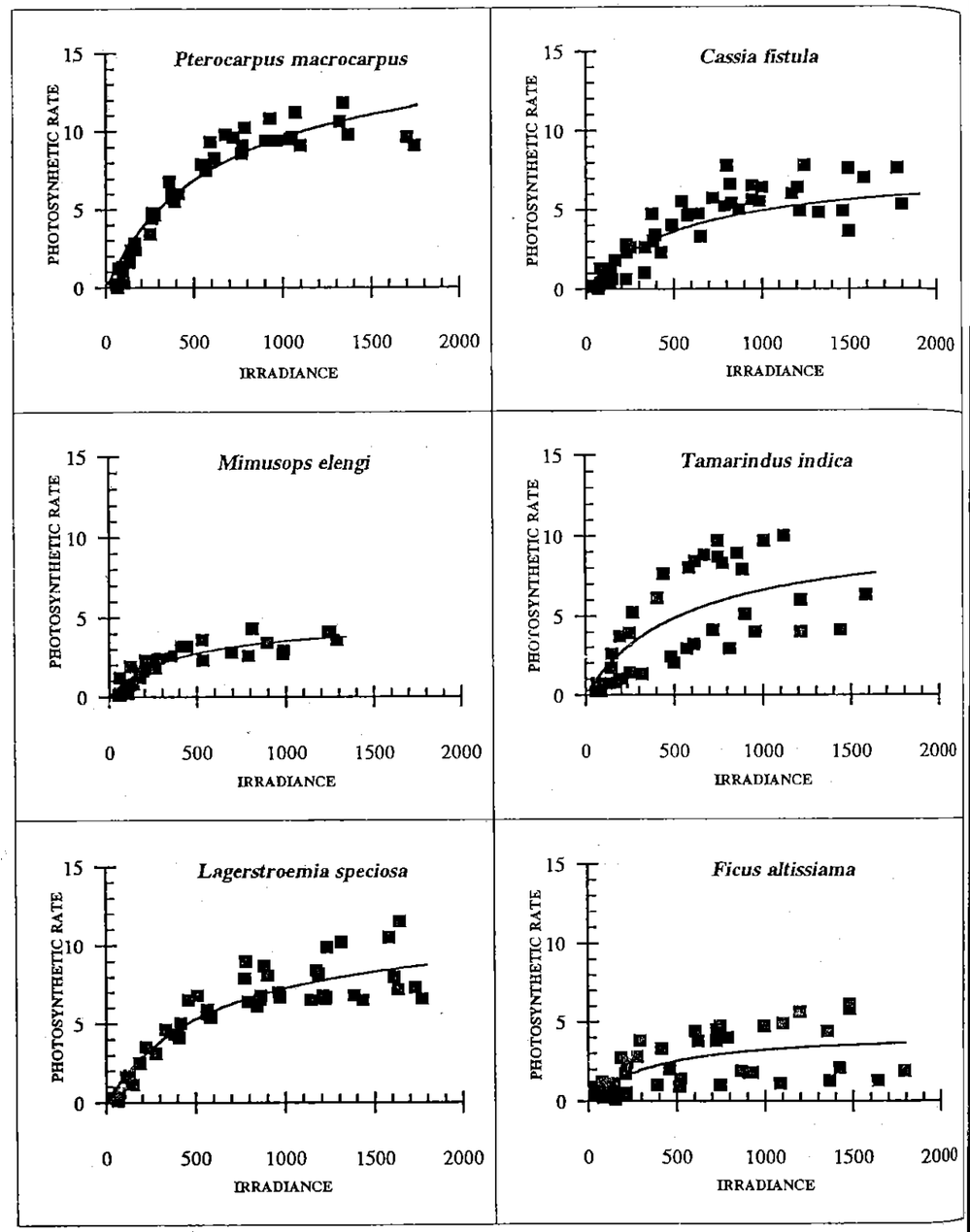


Figure 3. Light response curves of 6 ornamental tree species measured in the morning (09.00-11.00 h).

สำหรับกล้าไม้พิกุลและไทรใบทองซึ่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงค่อนข้างต่ำนั้น มีลักษณะโครงสร้างของใบที่คล้ายคลึงกันคือ มีใบค่อนข้างหนา ชั้น mesophyll ทั้ง palisade parenchyma และ spongy parenchyma มีการเรียงตัวของเซลหนาแน่น ช่องว่างระหว่างเซลภายในใบมีน้อยมาก ทำให้เซลสัมผัสกับอากาศได้น้อยลง การแพร่กระจายของกาซเข้าสู่เซลจึงน้อยลงไปด้วย (Esau 1967) นอกจากนั้น ปากใบที่พบในใบของกล้าไม้ทั้ง 2 ชนิด จะอยู่ต่ำกว่าระดับของผิวใบด้วย ความแตกต่างระหว่างใบพิกุล และไทรใบทองคือ พิกุลมีใบเป็นแบบ bifacial ส่วนไทรใบทองมีใบเป็นแบบ unifacial อย่างไรก็ตาม ลักษณะดังกล่าวนี้ Walters และ Bartholomew (1984) รายงานว่ามีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนกาซน้อยมาก

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของอัตราการสังเคราะห์แสงกับจำนวนและขนาดของปากใบของกล้าไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิด พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยมาก กล้าไม้ไทรใบทองซึ่งมีจำนวนของปากใบมาก และขนาดของปากใบใหญ่นั้น มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่ำมาก แสดงว่าจำนวนและขนาดของปากใบมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงน้อย อย่างไรก็ตาม การมีจำนวนปากใบมาก และขนาดของปากใบใหญ่ย่อมทำให้ใบมีโอกาสในการแลกเปลี่ยนกาซได้มากขึ้น ดังการศึกษาของ Pereira และ Kozlowski (1976) ซึ่งพบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัสที่จำนวนปากใบหนาแน่น จะมีอัตราการคายน้ำสูงกว่ากล้าไม้ที่มีจำนวนปากใบน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของชมภูนุช (2531) ที่รายงานว่าการคายน้ำของกล้าไม้ที่ศึกษาทั้งหมดจำนวน 8 ชนิด มีความสัมพันธ์กับขนาดของปากใบ โดยกล้าไม้ที่มีปากใบขนาดใหญ่จะมีอัตราการคายน้ำสูงกว่ากล้าไม้ที่มีปากใบขนาดเล็ก

การศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะโครงสร้างของใบและความสามารถในการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้นี้ ทำให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นขบวนการที่สำคัญในการเจริญเติบโตของต้นไม้ และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานอันหนึ่งในการตัดสินใจคัดเลือกชนิดไม้เพื่อปลูกในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

สรุป

1. ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของใบของกล้าไม้ประดับยืนต้นทั้ง 6 ชนิดที่ทำการศึกษาจะมีชั้น mesophyll เป็นแบบ bifacial ยกเว้นไทรใบทองจะมีชั้นของ mesophyll เป็นแบบ unifacial การปรากฏของปากใบเป็นแบบ hypostomatous ยกเว้นใบมะขามซึ่งจะพบปากใบเป็นแบบ amphi-stomatous ระดับของปากใบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ ใบประดู่ป่า อินทนิลน้ำ และมะขาม ปากใบจะอยู่ระดับเดียวกับผิวใบ ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งระดับของปากใบจะอยู่ต่ำกว่าระดับของผิวใบ ได้แก่ ใบชัยพฤกษ์ พิกุล และไทรใบทอง

2. ไทรใบทองมีความหนาแน่นของปากใบมากที่สุดเท่ากับ 192 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร และมีขนาดความยาวของช่องปากใบใหญ่ที่สุดเท่ากับ 23.08 ไมครอน พิกุลมีความหนาแน่นของ

ปากใบน้อยที่สุดเท่ากับ 103 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร และมะขามมีความยาวของช่องปากใบเล็กที่สุดเท่ากับ 15.48 ไมครอน การกระจายของปากใบมีความผันแปรแตกต่างกันในกล้าไม้แต่ละชนิด

3. อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันของกล้าไม้แต่ละชนิดมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดจะปรากฏในช่วงเช้า และในช่วงเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นต้นฤดูการเจริญเติบโต กล้าไม้จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าในช่วงเดือนธันวาคมซึ่งเป็นปลายฤดูการเจริญเติบโต ยกเว้นกล้าไม้พิกุล และไทรใบทองซึ่งไม่พบความแตกต่างในระหว่าง 2 ฤดูกาล

4. เมื่อพิจารณาจากอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดจะสามารถจำแนกกล้าไม้ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงได้แก่ กล้าไม้ประดู่ป่า อินทนิลน้ำ และมะขาม และกลุ่มที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำได้แก่ ชัยพฤกษ์ พิกุล และไทรใบทอง

5. กล้าไม้แต่ละชนิดมีรูปแบบการตอบสนองต่อความเข้มแสงที่คล้ายคลึงกัน แต่จะมีจุดความเข้มแสงอิ่มตัวที่แตกต่างกัน โดยในช่วงเช้าจะมีความเข้มแสงอิ่มตัวที่สูงกว่าในช่วงบ่าย

6. การเรียงตัวของเซลภายในใบ ระดับของปากใบ และความหนาใบมีความสัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของกล้าไม้ โดยกล้าไม้ที่มีใบบาง โครงสร้างภายในใบมีเซลเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ มีช่องว่างระหว่างเซลขนาดใหญ่ และมีปากใบในระดับเดียวกับผิวใบจะเป็นลักษณะของใบที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์สูง

คำนิยม

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย สล. 5.35 **"การดูดซับกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ประดับในเขตเมือง"** ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

ชมภูนุช โสดาจันทร์. 2531. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานของใบกับการใช้น้ำของกล้าไม้ป่าบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาพิศ ร้อยอำแพง และ ลดาวัลย์ พวงจิตร. 2538. ลักษณะโครงสร้างใบและการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ประดู่บ้านที่ปลูกในกรุงเทพมหานคร. เอกสารเสนอในที่ประชุมการป่าไม้ประจำปี 2538 ณ หอประชุมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 12 หน้า.

Ball, M.C. and C. Critchley. 1982. Photosynthetic responses to irradiance by the grey mangrove, *Avicenia marina,* grown under different light regimes. Plant Physiol. 70 : 1101-1106.

Clough, J.M., M.M. Peet and P.J. Kramer. 1981. Effects of high atmospheric CO_2 and sink size on rates of photosynthesis of a soybean cultivar. Plant Physiol. 67 : 1007-1010.

Cutler, G.E. 1972. Plant Anatomy. William Glowes & Son Ltd., London. 343 p.

Dreyer, E. and F.A. Daudet. 1984. Photosynthesis and transpiration of whole walnut trees, diurnal variations and effects of a severe drought, pp. 415-418. *In* : C. Sybesma (ed.), Advances in Photosynthesis Research, Vol. IV. Dr. W.Junk Publishers, Boston.

Esau, K. 1967. Plant Anatomy. John Wiley and Sons, New York. 676 p.

Johensen, D.A. 1940. Plant Microtechniques. McGraw-Hill Book, New York. 523 p.

Long, S.P. and J.E. Hallgren. 1993. Measurement of CO_2 assimilation rate by plants in the field and the laboratory, pp. 129-165. *In* : D.O. Hall, J.M.O. Scurlock, H.R. Bolhar-Nordenkampf, R.C. Leegood and S.P. Long (eds). Photosynthesis and Production in a Changing Environment : A field and Laboratory. Chapman & Hall, London.

Pereira, J.S. and T.T. Kozlowski. 1976. Leaf anatomy and water relations of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. globulus* seedlings. Can. J. Bot. 54 : 2868-2880.

Ticha, I. 1982. Photosynthetic characteristics during ontogenesis of leaves, stomata density and sizes. Photosynthetica 16 : 375-471.

Walters, G.A. and D.P. Bartolomew. 1984. *Acacia koa* leaves and phyllodes : gas exchange morphological, anatomical and biochemical characteristics. Bot. Gaz. 145 : 351-357.

Weyers, J. D. B. and H. Mediner. 1990. Methods in Stomatal Research. Longman Scientific & Technical, London. 233 p.