การศึกษาวัฏจักรคาร์บอนในสวนป่าไม้กฤษณาในประเทศไทย

(Carbon cycling in *Aquilaria spp.* Plantation in Thailand)

นายดุริยะ สถาพร

บทคัดย่อ

การศึกษาวัฏจักรคาร์บอนในสวนป่าไม้กฤษณาในประเทศไทยทำการศึกษาในรูปแบบของกระบวนการทางสรีรวิทยาของไม้กฤษณาเพื่อประเมินการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการศึกษาในระดับของกล้าไม้ ที่อยู่ในระดับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน 3 ระดับ และในส่วนของไม้กฤษณาที่ปลูกเป็นสวนป่า อายุ 4 ปี จากการศึกษาพบว่าพบว่าที่ระดับความเข้มแสง 50 % ค่ามากที่สุดรองมาคือ 100% และ 20% โดยมีค่าเท่ากับ 4.948 3.225 และ .428 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ และมีจุดอิ่มตัวของแสงเท่ากับ 500 700 และ 200 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ และจากการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้กฤษณาที่อายุ 4 ปี พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม มีค่า เท่ากับ 9.08 μmol $m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าต่ำสุดในเดือน มกราคม มีค่าเท่ากับ 2.13 μmol $m^{-2}s^{-1}$ โดยอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้ามีค่ามากกว่าช่วงบ่าย อย่างชัดเจนในช่วงแล้ง แต่สำหรับในช่วงฝนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงฝน และมีค่าลดลงในช่วงแล้ง

จากการศึกษาความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันของไม้กฤษณาซึ่งทำการศึกษาในช่วงเวลาตั้งแต่เวลาประมาณ 07.00 น. ถึง 18.00 น. ในเดือนกุมภาพันธ์ กรกฎาคม ธันวาคม และกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นตัวแทนของช่วงแล้ง ช่วงฝน และก่อนฤดูแล้ง ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.47 4.08 และ 2.26 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ และเมื่อนำค่าอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันทั้ง 3 ช่วงฤดูกาลมาประเมินค่าอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้กฤษณาพบว่า สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 7.02 ตันต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณคาร์บอน เท่ากับ 1.91 ตันต่อไร่ต่อปี ซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบไม้ชนิดอื่น ทั้งนี้พบว่าแม้ไม้กฤษณาจะเป็นไม้ที่ไม่ทิ้งใบ แต่อัตราการสังเคราะห์แสง หรือการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีค่าต่ำ ตลอดทั้งปี แม้จะเป็นช่วงฤดูฝนซึ่งสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็ตาม และพบว่าไม้กฤษณาไม่ทนต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปากใบของไม้กฤษณาจะไม่เปิดทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการสังเคราะห์แสงมีน้อย แต่ในสภาวะที่เหมาะสม ถึงแม้ว่าความเข้มแสงจะมีน้อยไม้กฤษณาก็สามารถสังเคราะห์แสงได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับความเข้มแสงเต็มที่

คำนำ

ไม้กฤษณา (*Aquilaria spp.*) หรือ Agarwood เป็นไม้ที่มีกลิ่นหอมที่นิยมใช้ในงานประเพณีของชาวมุสลิม น้ำมันใช้เป็นน้ำมันหอม กลิ่นกฤษณาจะติดผิวนาน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติป้องกันแมลงเห็บและเหาได้ ในทางอุตสาหกรรมใช้เข้าเครื่องยา และที่สำคัญคืออุตสาหกรรมน้ำหอมที่ดีมีราคาแพง แก่นไม้กฤษณาเป็นของป่าที่ได้จากต้นกฤษณา เป็นพวกน้ำมันหอมระเหยหรือชันหรือยาง (Terpenoid) เช่นเดียวกับน้ำมันยูคาลิปตัส และน้ำมันสน ยางหรือชันที่พบในต้นกฤษณาให้กลิ่นรุนแรงที่แตกต่างไปจากน้ำมันหอมระเหยอื่นๆ กล่าวคือ มีกลิ่นหอมหวาน ทำให้เป็นน้ำมันหอมระเหยหรือยางหรือชันที่มีราคาแพงมาก ประมาณ 40,000 – 60,000 บาทต่อกิโลกรัม อาจจะกล่าวได้ว่ามีราคาแพงที่สุดในโลกก็ได้ ที่บางคนเรียก ไม้ของพระเจ้า (Wood of God) องค์ประกอบทางด้านเคมีของน้ำมันกฤษณาประกอบด้วยสารที่เป็นยางเหนียว (Resin) อยู่มาก สารที่ทำให้เกิดกลิ่นหอม ชื่อว่า Sesquiterpen alcohol ได้แก่ Dihydroagaroforan, b-Agarofuran, a-Agarofuran, Agarospirol และ Agarol

ปัจจุบันไม้กฤษณาในป่าธรรมชาติได้ลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว แต่ความต้องการใช้ไม้กฤษณายังคงมีมากอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการนำไม้ชนิดนี้มาปลูกสร้างสวนป่าเพื่อการค้าเป็นพื้นที่กว้างขวาง นอกจากประโยชน์ในเชิงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ได้จากการปลูกสร้างสวนป่าไม้กฤษณาแล้ว ประโยชน์ในด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมก็มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการปลูกสร้างสวนป่า เช่น ช่วยปรับปรุงฟื้นฟูต้นน้ำลำธาร เป็นที่อยู่ของสัตว์ป่า ช่วยรักษาคุณสมบัติของดิน ตลอดจนเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนเพื่อช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ

วัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้นับเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ทั้งในด้านการปลดปล่อยและการเก็บกัก โดยป่าไม้เป็นกลไกสำคัญในการเก็บกักหรือดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของต้นไม้เพื่อนำมาเก็บกักไว้ในรูปของมวลชีวภาพทั้งในส่วนเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน (Above- and below-ground biomass) ในขณะเดียวกันก็มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการหายใจ การตาย และการย่อยสลายของเศษซากพืช ซึ่งเศษซากพืชที่ย่อยสลายแล้วจะกลับเข้าสู่วัฏจักรคาร์บอนในรูปของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะถูกปลดปล่อยกลับคืนสู่บรรยากาศโดยปฏิกิริยาจากกิจกรรมต่างๆ ของดิน (Soil respiration) จากการสำรวจก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศพบว่า เมื่อปี 2537 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากกิจกรรมทางด้านป่าไม้มีประมาณ 60.5 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนประมาณ 16.5 ล้านตันต่อปี (OEPP, 2000) แต่ปริมาณการปลดปล่อยในปี 2537 นี้คิดเป็นเพียงร้อยละ 70 ของปริมาณการปลดปล่อยในปี 2533 เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สวนป่าและการลดลงของการตัดไม้ทำลายป่า และพบว่าพื้นที่สวนป่าและป่าธรรมชาติที่กำลังเจริญเติบโตสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 39.1 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นเกือบ 4 เท่าของปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อปี 2533 (OEPP, 2000) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่าแต่ละประเภทมีความผันแปรค่อนข้างสูง

ขึ้นอยู่ประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และลักษณะโครงสร้างของต้นไม้ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้นี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ ดังนั้น การศึกษาวัฏจักรคาร์บอนในสวนป่าไม้กฤษณา จะทำให้ทราบศักยภาพในการเก็บกักคาร์บอนในพื้นที่สวนป่ากฤษณาของประเทศไทย ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศต่อไป

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงและกระบวนการทางสรีรวิทยาของไม้กฤษณา

2) เพื่อศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้กฤษณา

อุปกรณ์วิธีการ

การศึกษาการตอบสนองของแสงของกล้าไม้กฤษณาที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน

ทำการคัดเลือกกล้าไม้กฤษณาในเรือนเพาะชำ ที่อยู่ในระดับความเข้มแสง 3 ระดับ ได้แก่ 100 50 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการคัดเลือกใบตัวอย่างที่มีลักษณะสมบูรณ์และโตเต็มที่ จำนวน 5 ต้นๆละ 1 ใบ ทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มแสงต่ออัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้กฤษณาที่ทำการคัดเลือก โดยการติดเครื่องกำเนิดแสง (Light source) เข้ากับ Leaf chamber เครื่องกำเนิดแสงดังกล่าวนี้เป็นหลอดไฟที่ไม่มีความร้อน และสามารถปรับระดับความเข้มแสงได้โดยการเปลี่ยน Filter กรองแสง ในที่นี้จะทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน 10 ระดับตั้งแต่ 0-2000 μmol m^{-2} s^{-1} ทั้งนี้เครื่องจะทำการบันทึกค่าต่างๆ ทางสรีรวิทยาและปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net photosynthesis) อัตราการคายน้ำ การปิดเปิดของปากใบ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงนี้ สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับการสื่อสารข้อมูลหรือตรวจ สอบข้อมูลในภาคสนามได้

วิเคราะห์ Photosynthetic-light response curve โดยอาศัยความสัมพันธ์แบบ Asymtotic exponential ตามสมการการของ Boote and Loomis (1991)

$$A_{net} = A_{sat}\left[1 - e^{\left(\frac{-\phi PPFD}{A_{sat}}\right)}\right] - R_d$$

เมื่อ A_{net} = Net photosynthesis (μmol m^{-2} s^{-1})

PPFD = Photosynthetic photon flux density (μmol m^{-2} s^{-1})

A_{sat} = Light-saturated photosynthesis (μmol m^{-2} s^{-1})

ϕ = Quantum yield of photosynthesis

R_d = Dark respiration (μmol m^{-2} s^{-1})

การวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของไม้กฤษณา

ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของกฤษณา โดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสง Portable Photosynthesis System LI-6400 (LICOR Inc., USA) ซึ่งเป็นเครื่องมือแบบระบบเปิด ชนิดนำเคลื่อนที่ได้ การวัดทำได้โดยการเลือกตัวอย่างใบที่ต้องการศึกษา ใช้ Leaf chamber หนีบใบ แล้วทำการวัดข้อมูล เครื่องจะบันทึกข้อมูลปริมาณความเข้มแสง ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ปริมาณไอน้ำ ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพันธ์ อุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิใบ และเครื่องจะทำการคำนวณ อัตราการสังเคราะห์แสง การชักนำการเปิดของปากใบ การคายน้ำ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์ และอื่น ๆ

1) ความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันในแต่ละฤดูกาล

การศึกษาความผันแปรในรอบวันในแต่ละฤดูกาลของอัตราการสังเคราะห์แสงของไม้กฤษณา โดยการเลือกใบตัวอย่างที่มีสภาพดี มีการเติบโตเต็มที่ไม่แก่หรืออ่อนจนเกินไป (mature leaf) อยู่ในระดับเรือนยอดที่ได้รับแสงเต็มที่ (sunleaf) ต้นละ 10 ใบ ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงทุกๆ 1 ชั่วโมง ในรอบวัน ตั้งแต่ เวลา 07.00 น. – 18.00 น. โดยทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวของ

2) ความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดในรอบปี

การศึกษาความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดในรอบปีของไม้กฤษณา โดยการเลือกใบตัวอย่างที่มีสภาพดี มีการเติบโตเต็มที่ไม่แก่หรืออ่อนจนเกินไป (mature leaf) อยู่ในระดับเรือนยอดที่ได้รับแสงเต็มที่ (sunleaf) เช่นเดียวกับการศึกษาความผันแปรในรอบวันในแต่ละฤดูกาลของอัตราการสังเคราะห์แสง จำนวนต้นละ 7 ใบ ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง ในช่วงเวลาเช้า และช่วงเวลาบ่าย โดยติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดแสง (light source) เข้ากับ leaf chamber ปรับระดับความเข้มแสงเท่ากับ 2,000 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งเป็นระดับความเข้มแสงที่เกินจุดอิ่มตัวของแสง ทำให้ต้นไม้สามารถสังเคราะห์แสงได้สูงสุด ทำการวัดทุก ๆ เดือน

ผลการศึกษา

การตอบสนองของแสงของกล้าไม้กฤษณาที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน

การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้กฤษณาที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มแสง 50 % ค่ามากที่สุดรองมาคือ 100% และ 20% โดยมีค่าเท่ากับ 4.948 3.225 และ .428 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับค่าการเปิดปิดของปากใบ และค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ สำหรับค่าการคายน้ำ พบว่าที่ระดับความเข้มแสง 100% มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ 50% และ 20% ตามลำดับ เนื่องจากที่ระดับความเข้มแสง 100% กล้าไม้ต้องคายน้ำเพื่อรักษาสมดุลในลำต้นเพื่อการสังเคราะห์แสง และที่ระดับ 20% ปากใบของกล้าไม้กฤษณาปิด แม้จะมีการกระตุ้นด้วยแสงก็ยังไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ดี ดังนั้นในการปลูกหรือเพาะชำกล้าไม้กฤษณาในระยะเริ่มต้น จึงควรใช้ความเข้มแสงที่ 50% จึงจะทำให้กล้าไม้มีการเจริญเติบโตดีที่สุด

ตารางที่ 1 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดและค่าทางสรีระวิทยาของกล้าไม้กฤษณาที่ระดับความเข้มแสง 20 50 และ 100 %

ความเข้มแสง (%)	อัตราการสังเคราะห์แสง (μmol $m^{-2}s^{-1}$)	การเปิดปิดปากใบ (μmol $m^{-2}s^{-1}$)	การคายน้ำ (μmol $m^{-2}s^{-1}$	ประสิทธิภา การใช้น้ำ
20	0.428[a]	0.050[a]	1.420[a]	0.020[a]
50	4.948[c]	0.121[b]	2.146[b]	0.236[c]
100	3.225[b]	0.100[b]	2.622[b]	0.122[b]
F	0.022	0.010	0.114	0.062

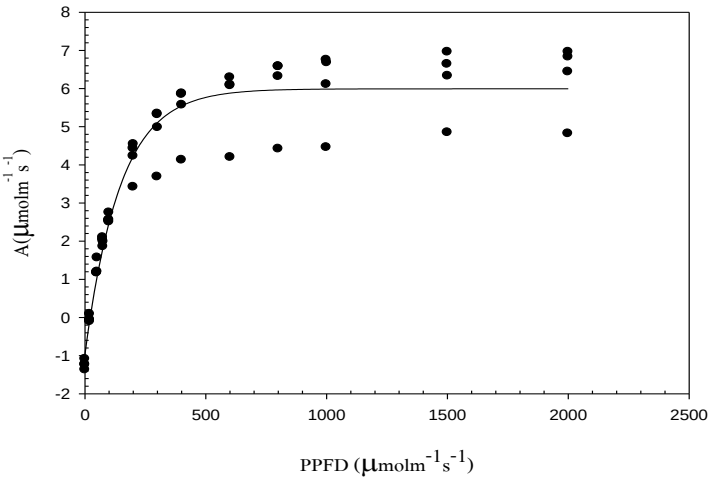
จากการศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของกล้าไม้กฤษณาที่อยู่ในระดับความเข้มแสงต่างกัน พบว่าที่ระดับความเข้มแสง 100 50 และ 20 % มีจุดอิ่มตัวของแสงเท่ากับ 700 500 และ 200 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งพรรณไม้แต่ละชนิดมีจุดอิ่มตัวของแสงที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปพรรณไม้ที่ชอบแสงจะมีจุดอิ่มตัวของแสงสูงกว่าพรรณไม้ที่ชอบร่ม แต่ที่ระดับความเข้มแสงต่ำ อัตราการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้ที่ชอบร่มจะมีค่าสูงกว่า (Bidwell, 1974) นอกจากนี้ความเข้มแสงอิ่มตัวอาจผันแปรไปตามระดับชั้นเรือนยอด ซึ่ง Rundel *et al.* (1995) พบว่า ความเข้มแสงอิ่มตัวของตะเคียนที่เป็นไม้ใหญ่ ลูกไม้ และกล้าไม้ ที่ขึ้นในสภาพธรรมชาติมีความเข้มแสงอิ่มตัวประมาณ 700, 500 และ 400 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งไม้ในเขตร้อนโดยทั่วไปจะมีจุดอิ่มตัวของแสงอยู่ที่

600-800 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ หรือมีปริมาณเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณความเข้มแสงที่ได้รับเต็มที่ (สาพิศ และลดาวัลย์, 2539; Larcher, 1995)

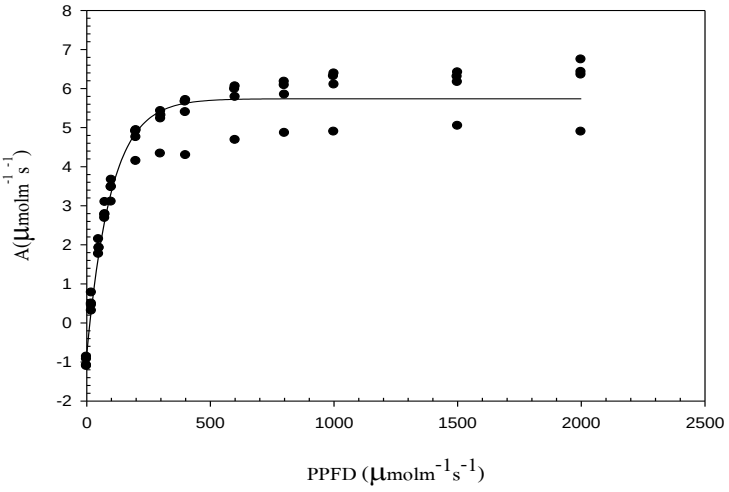
และเมื่อพิจารณาค่าการสังเคราะห์แสงสูงสุดของกล้าไม้กฤษณาพบว่าที่ระดับความเข้มแสง 100 และ 50% มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาค่า quantum yield (ϕ) จากตารางที่ 2 ซึ่งเป็นค่า initial slope ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้แสงที่ระดับต่ำในสภาพปกติของไม้ที่ได้รับแสงเต็มที่ จะมีค่า quantum yield อยู่ระหว่าง 0.05-0.07 (สาพิศ และคณะ, 2547) พบว่าที่กล้าไม้กฤษณาที่อยู่ในระดับความเข้มแสง 50% มีค่ามากที่สุดนั่นคือกล้าไม้กฤษณาสามารถนำแสงที่มีอยู่ในระดับต่ำ ไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดี สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีแสงปานกลาง แต่ไม่น้อยจนเกินไป

ตารางที่ 2 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของไม้กฤษณาจากการคำนวณโดยใช้สมการของ Boote and Loomis (1991)

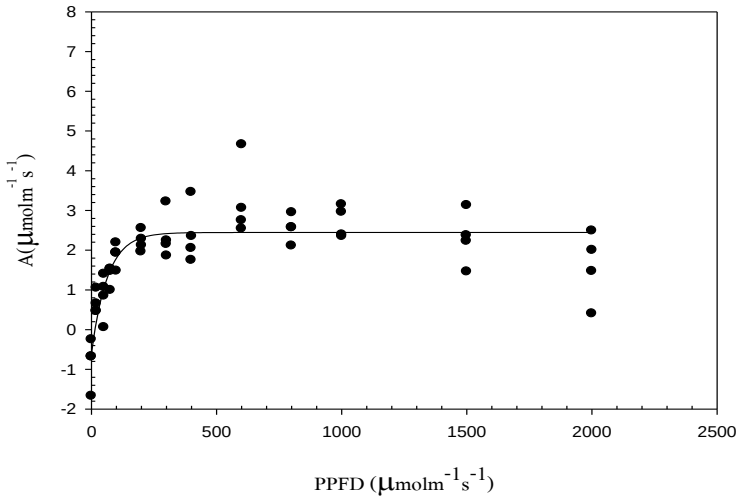
ความเข้มแสง (%)	A_{Sat} ($\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$)	ϕ	R_d ($\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$)	Light saturation point ($\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$)	R^2	P-value
100%	6.95	0.048	0.96	700	0.94	<0.0001
50%	6.53	0.066	0.80	500	0.95	<0.0001
20%	3.05	0.048	0.61	200	0.70	<0.0001



100%



50%



20%

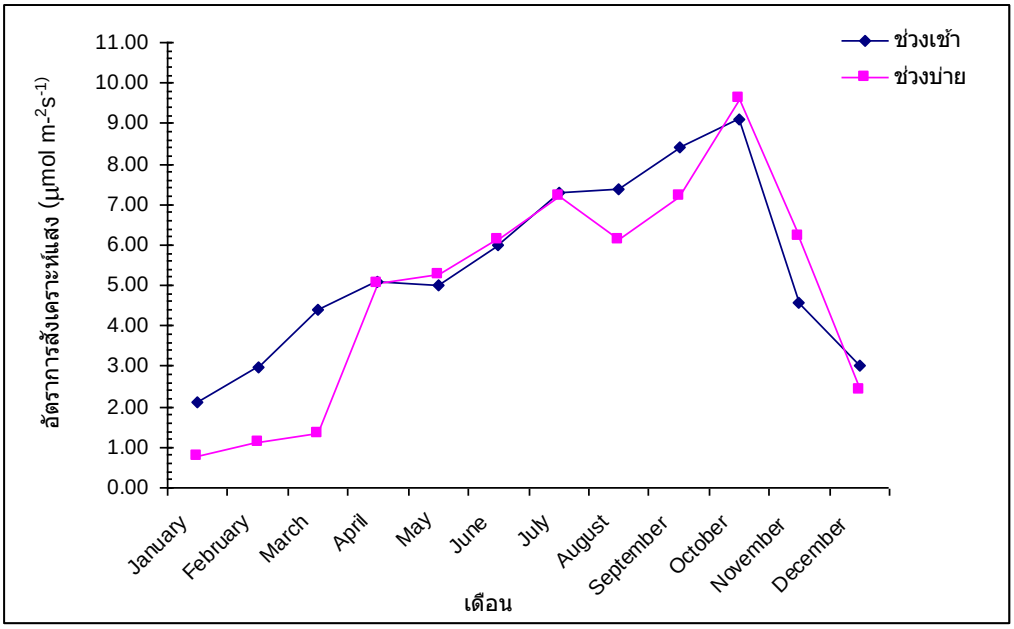
ภาพที่ 1 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของกล้าไม้กฤษณา ที่ได้รับแสง 100 50 และ20 % จาก การคำนวณโดยใช้สมการของ Boote and Loomis (1991)

ความผันแปรในรอบปีของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของไม้กฤษณา

การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของไม้กฤษณาที่อายุ 4 ปี พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม มีค่า เท่ากับ 9.08 μmol $m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าต่ำสุดในเดือน มกราคม มีค่าเท่ากับ 2.13 μmol $m^{-2}s^{-1}$ โดยอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้ามีค่ามากกว่าช่วงบ่าย อย่างชัดเจนในช่วงแล้ง แต่สำหรับในช่วงฝนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงฝน และมีค่าลดลงในช่วงแล้ง จากการศึกษาของ Eamus and Cole (1997) พบว่าโดยปกติแล้วอัตราการสังเคราะห์แสงในตอนเช้าจะสูงกว่าในตอนบ่ายและความแตกต่างระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงในตอนเช้าและบ่ายจะเด่นชัดในช่วงฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผล 2 ประการ คือ 1) อุณหภูมิใบในตอนบ่ายสูงกว่าในตอนเช้า เป็นผลให้การคายน้ำมากปากใบจึงปิด ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง (Prior *et al.*,1997) และ 2) ความแตกต่างของความดันไอระหว่างใบและบรรยากาศ จะมีอิทธิพลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงในฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝน และมีอิทธิพลในช่วงบ่ายมากกว่าช่วงแล้ง การชักนำการเปิดปากใบจะตอบสนองต่อค่าความแตกต่างของความดันไอระหว่างใบและบรรยากาศมาก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความแตกต่างดังกล่าวจะทำให้ปากใบปิด ส่งผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Eamus and Cole, 1997)

ตารางที่ 3 ค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (A_{net})การชักนำการเปิดปากใบ (g_s) การคายน้ำ (E) และ ความแตกต่างของความดันไอระหว่างใบและบรรยากาศ (LAVPD) ของไม้กฤษณา ในรอบปี

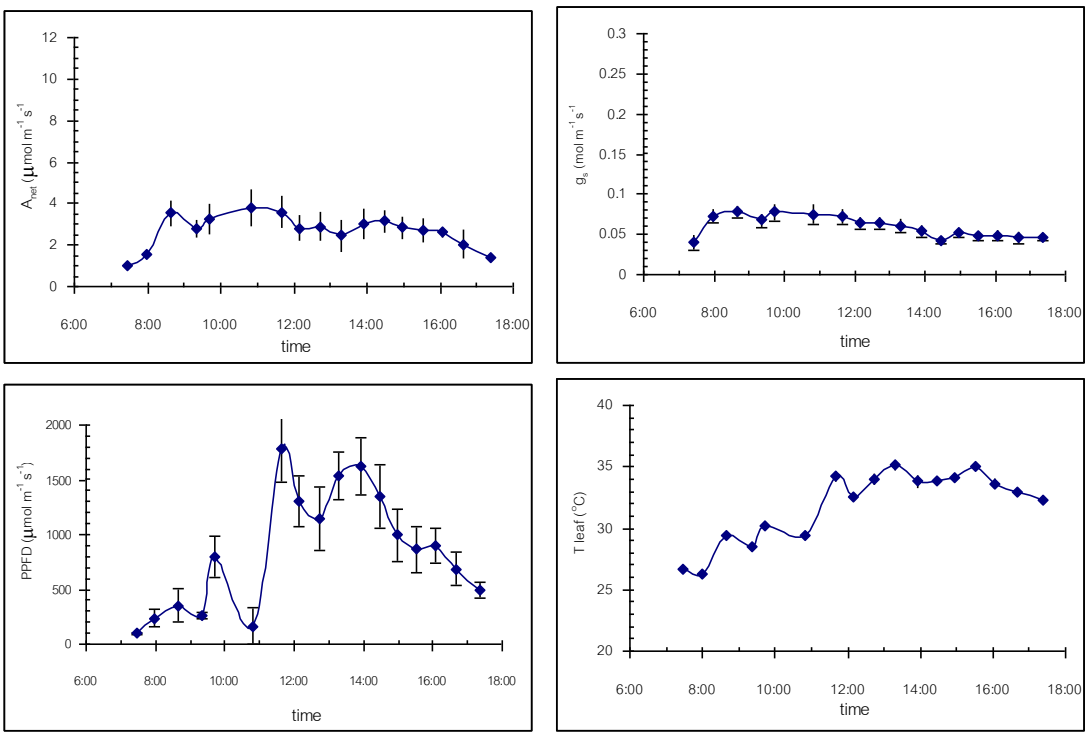
เดือน	A_{net}		g_s		E		LAVPD	
	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
มกราคม	2.13	0.79	0.02	0.01	0.63	0.35	3.01	2.35
กุมภาพันธ์	2.97	1.12	0.03	0.01	0.88	0.44	2.51	2.90
มีนาคม	4.39	1.35	0.05	0.02	2.03	1.80	4.26	7.43
เมษายน	5.09	5.05	0.07	0.05	2.29	1.56	3.12	2.92
พฤษภาคม	4.99	5.27	0.05	0.06	0.78	1.86	1.40	2.81
มิถุนายน	5.99	6.14	0.06	0.17	1.96	2.58	2.97	1.57
กรกฎาคม	7.28	7.18	0.11	0.11	2.18	2.20	2.07	2.14
สิงหาคม	7.39	6.14	0.09	0.17	1.72	1.41	1.82	0.83
กันยายน	8.41	7.21	0.12	0.17	0.93	2.37	0.75	1.40
ตุลาคม	9.08	9.64	0.12	0.12	2.66	2.52	2.25	2.10
พฤศจิกายน	4.57	6.20	0.04	0.06	1.30	1.94	3.06	3.04
ธันวาคม	3.01	2.41	0.03	0.02	0.48	0.59	1.59	2.29
เฉลี่ย	5.44	4.87	0.07	0.08	0.63	1.64	2.40	2.65



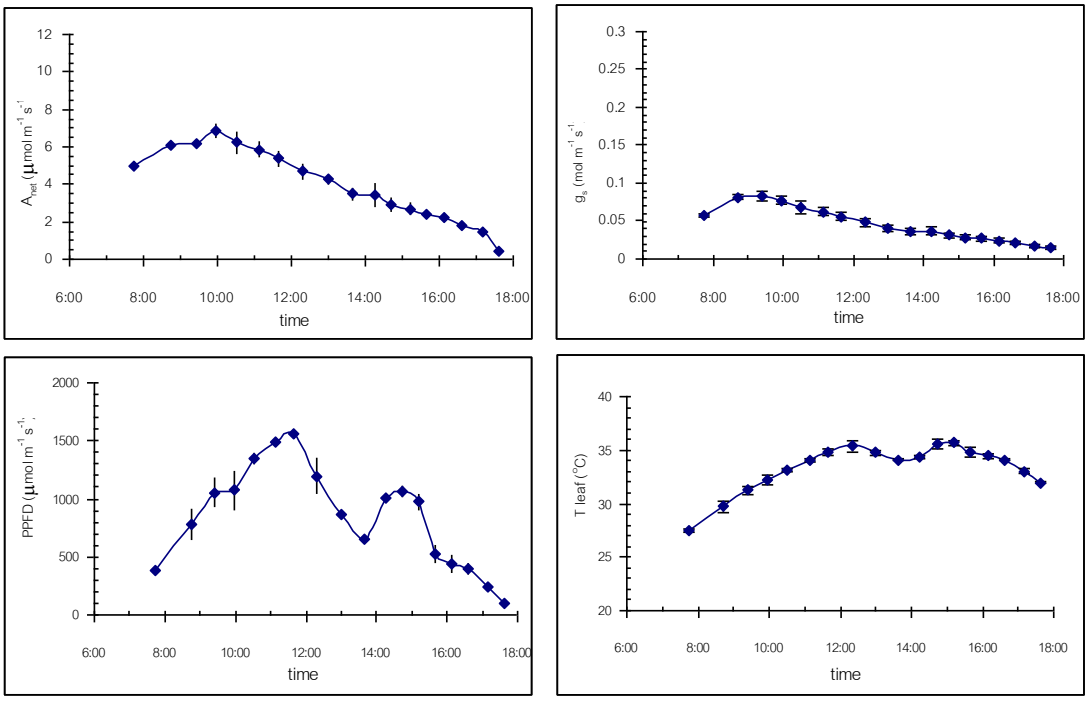
ภาพที่ 2 อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบปี ของไม้กฤษณา อายุ 4 ปี

ความผันแปรในรอบวันของอัตราการสังเคราะห์แสงของไม้กฤษณา

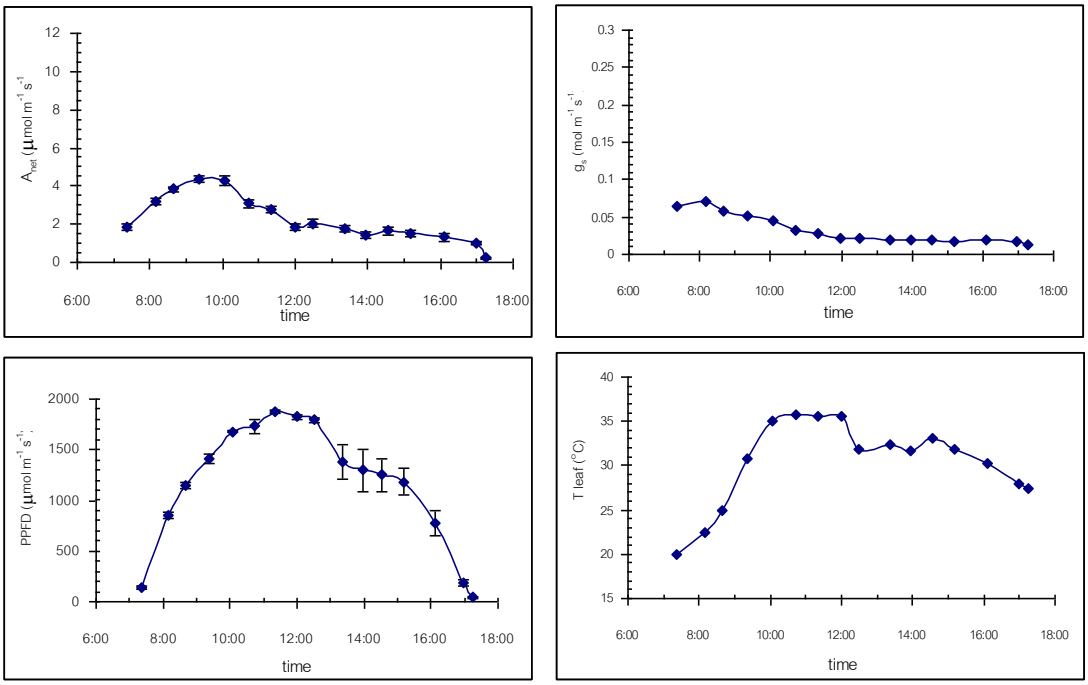
จากการศึกษาความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันของ ไม้กฤษณาซึ่งทำการศึกษาในช่วงเวลาตั้งแต่เวลาประมาณ 07.00 น. ถึง 18.00 น. ในเดือนกุมภาพันธ์ กรกฎาคม ธันวาคม และกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นตัวแทนของช่วงแล้ง ช่วงฝน และก่อนฤดูแล้ง ตามลำดับ พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันของไม้กฤษณา ในแต่ละฤดูกาล มีความผันแปรที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ อัตราการสังเคราะห์แสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้า เมื่อมีความเข้มแสงเพิ่มขึ้น จนถึงจุดสูงสุดในเวลาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยในเดือนกรกฎาคม และธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ยังมีฝน และความชื้นอยู่ อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 10.00 น. แต่ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงแล้งนั้น พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงจะขึ้นถึงจุดสูงสุด ในช่วงเวลาก่อน 09.00 น. หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะต่ำลงในช่วงเที่ยงวัน ซึ่งเกิดได้เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำลง การปิดของปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำอันเนื่องมากจากการคายน้ำ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะไปยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งโดยทั่วไปช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของไม้ยืนต้นในเขตร้อน มีค่าระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส (Bannister, 1976) อัตราการสังเคราะห์แสงที่ลดลงในช่วงเที่ยงนี้อาจยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงบ่ายถึงเย็น ในบางชนิดพบว่าอาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลาก่อนเย็น หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงจนกระทั่งแสงหมดไปในรอบวัน (ภาพที่ 3-5)



ภาพที่ 3 ความผันแปรในรอบวันของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ(A_{net}) การชักนำการเปิดปากใบ (g_s) ความเข้มแสง (PPFD) และอุณหภูมิใบ (T_{leaf}) ของไม้กฤษณา ในเดือนกุมภาพันธ์



ภาพที่ 4 ความผันแปรในรอบวันของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ(A_{net}) การชักนำการเปิดปากใบ (g_s) ความเข้มแสง (PPFD) และอุณหภูมิใบ (T_{leaf}) ของไม้กฤษณา ในเดือนกรกฎาคม



ภาพที่ 5 ความผันแปรในรอบวันของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ(A_{net}) การชักนำการเปิดปากใบ (g_s) ความเข้มแสง (PPFD) และอุณหภูมิใบ (T_{leaf}) ของไม้กฤษณา ในเดือนธันวาคม

จากการศึกษาในเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าไม้กฤษณามีการตอบสนองต่อความเข้มแสงในช่วงเช้าค่อนเร็ว ให้การสังเคราะห์แสงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากที่ได้รับแสง และถึงจุดสูงสุดในช่วงเช้า (ก่อนเวลา 09.00 น.) จากนั้นการสังเคราะห์แสงจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงก่อนเที่ยงวันและช่วงบ่าย แม้ว่าความเข้มแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นก็ตาม โดยพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเท่ากับ 2.47 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (ภาพที่ 3)สำหรับในเดือนกรกฎาคม พบว่าไม้กฤษณามีการตอบสนองต่อความเข้มแสงในช่วงเช้าค่อน ข้างช้า ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าตามปริมาณความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นทีละน้อย เนื่องจากในเดือนดังกล่าวเป็นช่วงฤดูฝน ปริมาณความเข้มแสงในช่วงเช้ามีน้อย และอัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าถึงจุดสูงสุดในเวลาก่อนเที่ยง (เวลาประมาณ 10.00 น.) จากนั้นการสังเคราะห์แสงจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเที่ยงและบ่าย จะเห็นว่าในเดือนกรกฎาคมอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยของไม้กฤษณามีค่าสูง โดยมีค่าเท่ากับ 4.08 μmol $m^{-2}s^{-1}$ เนื่องจากในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงฤดูฝน ต้นไม้มีการเจริญเติบโตสูง อีกทั้งปัจจัยแวดล้อม ต่าง ๆ เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช (ภาพที่ 4) และในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงก่อนฤดูแล้งนั้นไม้กฤษณามีค่าการสังเคราะห์แสงค่อนข้างต่ำ เท่ากับ2.26 μmol $m^{-2}s^{-1}$ โดยอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับปริมาณความเข้มแสงที่เพิ่มอย่างรวดเร็วเช่นกันในช่วงเช้าถึงเที่ยง อัตราการสังเคราะห์แสงถึงจุดสูงสุดในช่วงเช้า (ก่อนเวลา 10.00 น.) จากนั้นการสังเคราะห์แสงจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงก่อนเที่ยงวัน ซึ่งการลดลงนี้เนื่องจากอุณหภูมิของใบเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าลดลงมาก

ในช่วงเที่ยงวันและช่วงบ่าย ทำให้ความแตกต่างของความดันไอระหว่างใบและบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น และปากใบปิดเพื่อลดการคายน้ำทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของใบเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงในเดือนนี้มีค่าค่อนข้างต่ำ หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลาบ่าย และลดลงจนกระทั่งปริมาณแสงหมดไปในรอบวัน (ภาพที่ 5)

เมื่อนำค่าอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันทั้ง 3 ช่วงฤดูกาลมาประเมินค่าอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้กฤษณาพบว่า สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 7.02 ตันต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณคาร์บอน เท่ากับ 1.91 ตันต่อไร่ต่อปี ซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบไม้ชนิดอื่น ทั้งนี้พบว่าแม้ไม้กฤษณาจะเป็นไม้ที่ไม่ทิ้งใบ แต่อัตราการสังเคราะห์แสง หรือการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีค่าต่ำ ตลอดทั้งปี แม้จะเป็นช่วงฤดูฝนซึ่งสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็ตาม และพบว่าไม้กฤษณาไม่ทนต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปากใบของไม้กฤษณาจะไม่เปิดทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการสังเคราะห์แสงมีน้อย แต่ในสภาวะที่เหมาะสมถึงแม้ว่าความเข้มแสงจะมีน้อยไม้กฤษณาก็สามารถสังเคราะห์แสงได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับความเข้มแสงเต็มที่

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้กฤษณาที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มแสง 50 % ค่ามากที่สุดรองมาคือ 100% และ 20% โดยมีค่าเท่ากับ 4.948 3.225 และ .428 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ กล้าไม้กฤษณาที่อยู่ในระดับความเข้มแสง 50% มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงที่ระดับต่ำ มากที่สุดนั่นคือกล้าไม้กฤษณาสามารถนำแสงที่มีอยู่ในระดับต่ำ ไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดี สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีแสงปานกลาง แต่ไม่น้อยจนเกินไป

2. การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของไม้กฤษณาที่อายุ 4 ปี พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม มีค่า เท่ากับ 9.08 μmol $m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าต่ำสุดในเดือน มกราคม มีค่าเท่ากับ 2.13 μmol $m^{-2}s^{-1}$ โดยอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้ามีค่ามากกว่าช่วงบ่าย อย่างชัดเจนในช่วงแล้ง แต่สำหรับในช่วงฝนมีค่าใกล้เคียงกัน

3. จากการศึกษาความผันแปรของอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันของไม้กฤษณาซึ่งทำการศึกษาในช่วงเวลาตั้งแต่เวลาประมาณ 07.00 น. ถึง 18.00 น. ในเดือนกุมภาพันธ์ กรกฎาคม ธันวาคม และกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นตัวแทนของช่วงแล้ง ช่วงฝน และก่อนฤดูแล้ง ตามลำดับ พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันของไม้กฤษณา ในแต่ละฤดูกาล มีความผันแปรที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ อัตราการสังเคราะห์แสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้า เมื่อมีความเข้มแสงเพิ่มขึ้น จนถึงจุดสูงสุดในเวลาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยในเดือนกรกฎาคม และธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ยังมีฝน และความชื้นอยู่

อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 10.00 น. แต่ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงแล้งนั้น พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงจะขึ้นถึงจุดสูงสุด ในช่วงเวลาก่อน 09.00 น. หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะต่ำลงในช่วงเที่ยงวัน

4. อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้กฤษณามีค่าเท่ากับ 7.02 ตันต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณคาร์บอน เท่ากับ 1.91 ตันต่อไร่ต่อปี ซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบไม้ชนิดอื่น

เอกสารอ้างอิง

สาพิศ ร้อยอำแพง และลดาวัลย์ พวงจิตร. 2539. ลักษณะทางกายวิภาคของใบและการแลกเปลี่ยนก๊าซของไม้ประดู่บ้านที่ปลูกในกรุงเทพมหานคร. *ใน* รายงานการประชุมการป่าไม้แห่งชาติ ประจำปี 2538 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 20-24 พ.ย. 2538 กรมป่าไม้. หน้า 79-95.

สาพิศ ร้อยอำแพง, เจษฎา เหลืองแจ่ม, ภาณุมาศ ลาดปาละ. 2544. การเก็บกักคาร์บอนของป่าไม้. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2544 วิกฤติสิ่งแวดล้อม: งานวิจัยและทิศทางของประเทศไทย วันที่ 26 กันยายน 2544 ณ โรงแรมรอยัลซิตี้ กรุงเทพฯ. 10 หน้า.

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ภาณุมาศ ลาดปาละ และ เจษฎา เหลืองแจ่ม. 2547. การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ, ใน เอกสารประกอบการชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

Bannister, P. 1976. Introduction to Physiological Plant Ecology. John Wiley & Sons, New York.

Boote, K. J. and R.S. Loomis. 1991. The prediction of canopy assimilation, pp.109-139. *In* K.J. Boote and R. Loomis eds. Modeling Crop Photosynthesis from Biochemistry to Canopy, CSSA Special Publication No. 19. CSSA, Madison.

Eamus, D. and S.C. Cole. 1997. Diurnal and seasonal comparisions of assimilation, phyllode conductance and water potential of three Acacia and one Eucalypt species in the wet-dry tropics of Australia. Aust. J. Bot. 45: 275:290.

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.

Prior, L., D. Eamus and G.A. Duff. 1997. Seasonal and diurnal patterns of carbon assimilation, stomatal conductance, leaf water potential of *Eucalyptus tetrodonta* sapling in wet-dry savanna in Northern Australia. Aust. J. Bot. 45: 241-258.