

อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของ ใบยางพาราที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศต่างๆ

รุ่งตะวัน ทาบคำ¹ บุญธิดา โฆษิตทรัพย์² วีรศิลป์ สอนจรรยา³ ดวงรัตน์ ศตคุณ³
เชษฐ¹ สาทรกิจ¹ ชมภูษุช ฉายาเวช³ อรอุมา ด้วงาม³ และ พูนพิภพ เกษมทรัพย์^{1*}

ได้รับบทความ: 15 มีนาคม 2562

ได้รับบทความแก้ไข: 11 ตุลาคม 2562

ยอมรับตีพิมพ์: 24 ตุลาคม 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ โดยวัดการตอบสนองต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบที่อุณหภูมิต่างๆ ในห้องควบคุมอุณหภูมิ กำหนดความเข้มแสง $1,400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้อุณหภูมิ 9 ระดับ คือ 10, 15, 22, 28, 32, 36, 40, 42 และ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่ออุณหภูมิใบ โดยใช้สมการ 4th order polynomial equation และประเมินอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับต่างๆ ผลการทดลองพบว่า สมการ 4th order polynomial equation อธิบายความแปรปรวนของการตอบสนองต่ออุณหภูมิของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิได้ดี การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้การตอบสนองต่ออุณหภูมิของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบเปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิจะเพิ่มมากขึ้น และพบการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นด้วย และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน มีแนวโน้มที่จะอิมิตัวที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า $1,200 \mu\text{mol mol}^{-1}$

คำสำคัญ: ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อุณหภูมิที่เหมาะสม

¹ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

²ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

³ศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน, email: agrppk@ku.ac.th

Effects of Temperature on Para rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Leaf Photosynthesis Rates at Different Ambient CO₂ Concentrations

Rungtawan Thabkhum¹, Boonthida Kositsup², Weerasin Sonjaroon³,
Duangrat Satakhun³, Jate Sathornkich¹, Chompunut Chayawatand³,
Orunma Dunangnam³ and Poonpipope Kasemsap^{*}

Received: 15 March 2019

Revised: 11 October 2019

Accepted: 24 October 2019

ABSTRACT

This research aimed to study the effects of temperature on Para rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) leaf photosynthesis rates at different ambient CO₂ concentrations by measuring responses of the leaf net photosynthetic rates to the CO₂ concentrations in the air at different temperatures in temperature controlled room. The measurement was done using photosynthetically active photon flux at 1,400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 50 % to 80 % relative humidity, and nine temperature levels; (10, 15, 22, 28, 32, 36, 40, 42 and 45 °C). The responses of net photosynthetic rates to leaf temperatures were fitted using the 4th order polynomial equation. Then, the optimum temperatures for the net photosynthetic rate at different CO₂ concentration levels were estimated. The result showed that 4th order polynomial equation provided good fit to the responses of the net photosynthetic rates to leaf temperatures. The changes in CO₂ concentration influenced the responses. Increased CO₂ concentration led to increased net photosynthetic rate and also the responsiveness of net photosynthetic rate to temperature. Finally, optimum temperature increased with CO₂ concentration up to approximately 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Keywords: CO₂ concentration, Net photosynthetic rate, Optimum temperature

¹Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

²Department of Botany, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Pathum Wan, Bangkok 10330

³Center of Thai-French Cooperation on Higher Education and Research, Kasetsart University, Bangkok 10900

*corresponding author, e-mail: agrppk@ku.ac.th

บทนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.) ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย มีพื้นที่ปลูกมากกว่า 22 ล้านไร่ ทั่วประเทศทุกภูมิภาคของประเทศไทย ยางพาราถูกนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น งานทางด้านอุตสาหกรรม การก่อสร้าง วิศวกรรม การแพทย์ จนกระทั่งถึงการเรียนการสอนและอุปกรณ์กีฬา ดังนั้น ในหลายภาคส่วนได้มีการส่งเสริมการผลิตยางพาราให้มีคุณภาพ เพื่อแข่งขันในตลาดโลกได้

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อพืช โดยเฉพาะอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้พืชได้รับผลกระทบโดยตรง ต่อการเจริญเติบโต [1] ยังมีรายงานว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคอุตสาหกรรม และชุมชนเมืองขนาดใหญ่ ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ยางพาราเป็นหนึ่งในพืชที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ การคาดการณ์เปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในรอบปี เช่น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 2.6 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น 4 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงฤดูฝนและจะลดลงมากในช่วงฤดูแล้งทำให้ความชื้นในดิน ปริมาณน้ำในดินลดลง [2] จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพารา และกระทบต่อกระบวนการปฐมภูมิที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงรวมถึงลักษณะทางสรีรวิทยาอื่นๆ นอกจากนี้การเจริญเติบโตด้านลำต้นของยางพาราอายุ 1-5 ปี ยังขึ้นกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม 57.0 เปอร์เซ็นต์ ด้านพันธุกรรม 35.8 เปอร์เซ็นต์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม 7.1 เปอร์เซ็นต์ [3] แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตยางพารา ดังนั้น การทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราจึงมีความสำคัญ เพื่อพัฒนาไปสู่การเพิ่มศักยภาพในการผลิตยางพารา ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ เพื่อศึกษาการตอบสนองต่ออุณหภูมิเมื่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะนำไปสู่การคาดการณ์และจัดการการผลิตยางพาราให้มีประสิทธิภาพภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุประมาณ 1 เดือน ปลูกลงในกระถางขนาด 10 นิ้ว โดยใช้ชุดดินปากช่องจากสถานีวิจัยพืชไร่สุวรรณวาทกสิกิจ รดน้ำทุกวัน และให้ปุ๋ยสูตร 16-16-16 เดือนละ 1 ครั้ง ปลูกเป็นเวลา 2 เดือน เพื่อให้ใบชุดใหม่ (ฉัตรที่ 2) เจริญเติบโตสมบูรณ์ จัดไว้กลางแจ้งที่แปลงทดลอง 1 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัดการตอบสนองต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบที่อุณหภูมิอากาศต่างๆ จำนวน 6 ซ้ำ (1 ซ้ำ คือ 1 ใบต่อต้น) ด้วยเครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนก๊าซระบบเปิดรุ่น LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, USA) ด้วยหัววัดชนิดที่สามารถกำหนดความเข้มแสงได้ (LED red/blue light source) ในห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศได้ โดยกำหนดความเข้มแสงที่ $1,400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ และตั้งค่ากำหนด

ให้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนก๊าซระบบเปิดบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ และคำนวณค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเมื่อค่าสัมประสิทธิ์รวมของการแปรผัน (total coefficient of variations) ต่ำกว่า 1% โดยเริ่มต้นวัดที่อุณหภูมิอากาศ 28 องศาเซลเซียสก่อน หลังจากเสร็จจึงนำกลับออกไปปลูกเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดิม นอกห้องเพื่อปรับตัวเป็นเวลานาน 1 วัน จึงนำกลับเข้ามาในวัดการตอบสนองของต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่อุณหภูมิอากาศต่ำลง ได้แก่ 22, 15, และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จึงเปลี่ยนเป็นการตรวจวัดในสภาพอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 32, 36, 40, 42, และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ วัดการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศภายใต้อุณหภูมิอากาศที่ระดับต่างๆ ในช่วงเวลา 9.00-14.00 น. โดยปรับใช้วิธีการของ Kositsup และคณะ [4] โดยระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเริ่มต้นที่ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ก่อน จากนั้นจึงวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดน้อยลงมาเป็น 300, 200, 100 และ $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ต่อมาจะปรับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็น $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และรอจนกระทั่งอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิคงที่แล้ว จึงวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 600, 800, 1,000, 1,200, 1,500, 1,800 และ 2,000 ตามลำดับ

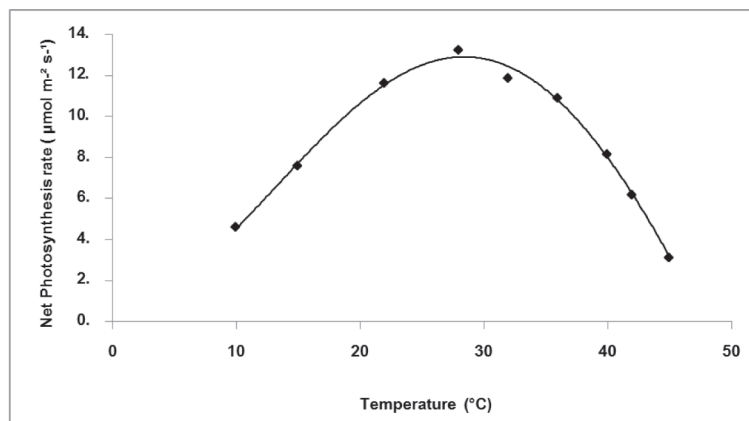
วิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบที่ความเข้มแสงสูงต่ออุณหภูมิใบ (ซึ่งจะแตกต่างประมาณ ± 1 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิอากาศที่กำหนดไว้เมื่อทำการวัด) ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศระดับต่าง ๆ ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปร (multiple linear regression model) โดยใช้สมการ 4th order polynomial equation ($Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$) ด้วย procedure reg ในโปรแกรม Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute, USA) จากนั้นประเมินอุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum temperature, T_{opt}) ต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศระดับต่างๆ และคำนวณค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมากที่สุด ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ ($P_{\text{max_Topt}}$), ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ ($P_{\text{opt_Topt}}$) และนำค่าที่ประเมินได้จากแต่ละใบมาเฉลี่ยจะได้ T_{opt} , $P_{\text{opt_Topt}}$ และ $P_{\text{max_Topt}}$ ที่แต่ละระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการทดลอง

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา เมื่อควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ แสดงในรูปที่ 1 พบว่า อุณหภูมิอากาศที่กำหนดได้ 28 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดสุทธิที่สุดเท่ากับ $12.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของยางพาราจะลดลง โดยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เท่ากับ $4.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ในขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 28 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราจะลดลงเช่นกัน โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงถึง 45 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำที่สุด คือ $2.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (รูปที่ 1)

สมการ 4th order polynomial equation สามารถอธิบายความแปรปรวนของการตอบสนองต่ออุณหภูมิของอากาศของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิได้มากถึง 98.3 เปอร์เซ็นต์ โดยพบค่าอุณหภูมิที่เหมาะสม เป็น 27.3 องศาเซลเซียส และค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ เป็น $12.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออุณหภูมิใบของแต่ละใบ (จำนวน 6 ใบ ในแต่ละระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ) แสดงไว้ในตารางที่ 1 อุณหภูมิที่เหมาะสม (T_{Opt}) และ ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมากที่สุด ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ ($P_{\text{max_Topt}}$) แต่ละความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ



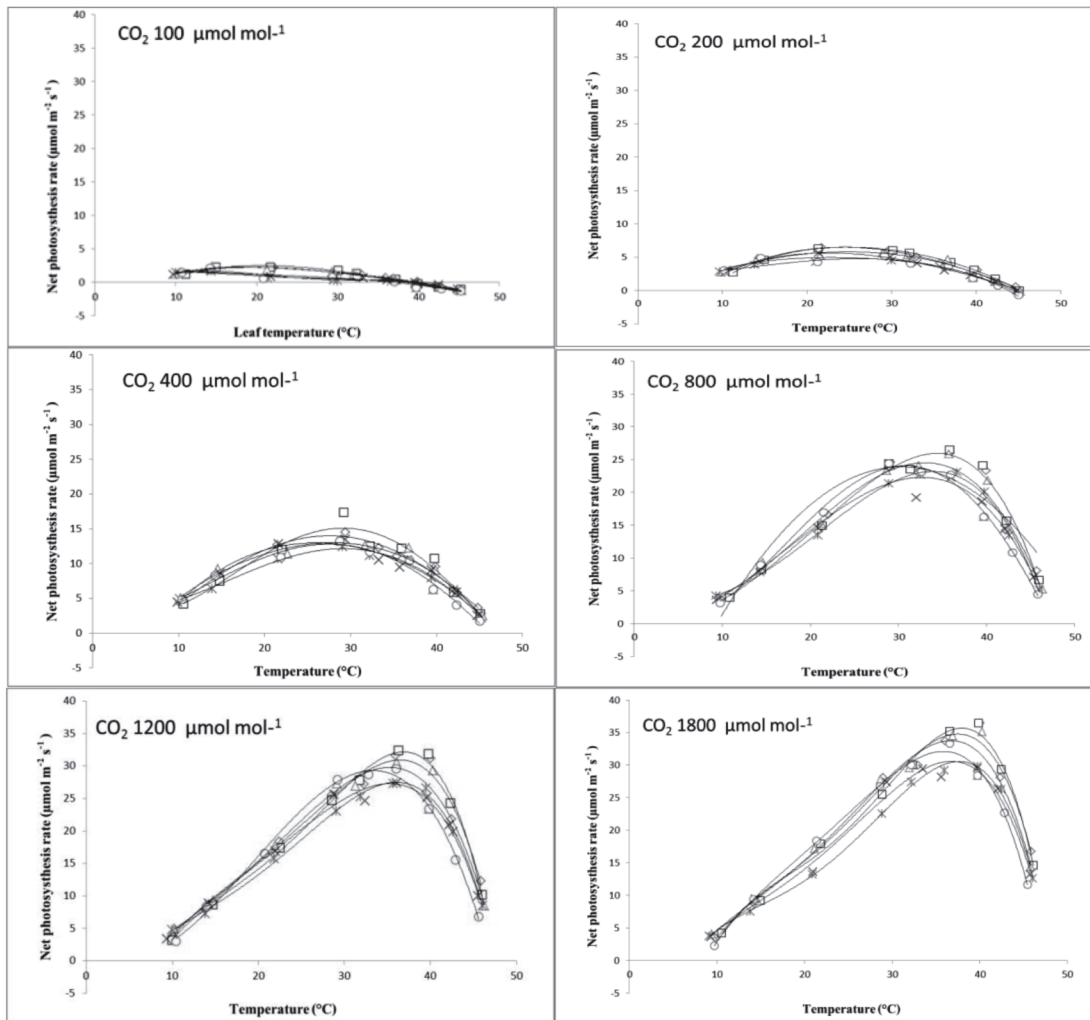
รูปที่ 1 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบต่ออุณหภูมิใบ ของต้นที่ 1 ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ โดยเส้นทึบแสดงค่าที่ประเมินจาก 4th order polynomial regression

ตามสมการ ($Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$) มีค่า Prob > F เป็น 0.0008 และ ค่า R-square เป็น 0.983

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบที่ความเข้มแสงสูงต่อ อุณหภูมิใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศระดับต่างๆ ด้วยแบบจำลอง ถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปร (multiple linear regression model) โดยใช้สมการ 4th order polynomial equation ($Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$)

CO ₂	Prob > F	Ranges			Mean	
		R ²	T _{opt} (°C)	P _{max_Topt} (μmol m ⁻² s ⁻¹)	T _{opt} (°C)	P _{max_Topt} (μmol m ⁻² s ⁻¹)
50	0.0002 - 0.556	0.455 - 0.991	8.8 - 14.0	0.34 - 1.52	13.9	1.51
100	0.0001 - 0.027	0.900 - 0.980	13.2 - 23.4	0.98 - 2.42	17.4	1.88
200	0.0001 - 0.001	0.937 - 0.994	18.0 - 26.3	4.43 - 6.65	23.5	5.66
300	0.0011 - 0.014	0.928 - 0.980	24.5 - 28.1	8.47 - 10.7	26.6	9.47
400	0.0008 - 0.018	0.919 - 0.983	25.1 - 29.0	11.4 - 14.8	27.3	12.99
600	< 0.0001 - 0.009	0.994 - 0.995	26.7 - 32.2	15.7 - 21.3	30.6	19.60
800	< 0.0001 - 0.005	0.955 - 0.994	30.9 - 36.2	20.5 - 28.5	33.2	24.07
1000	< 0.0001 - 0.003	0.965 - 0.994	32.0 - 37.7	25.1 - 33.3	35.7	29.45
1200	< 0.0001 - 0.002	0.972 - 0.996	33.2 - 38.9	26.0 - 36.2	36.6	32.57
1500	< 0.0001 - 0.019	0.974 - 0.996	34.4 - 37.4	26.3 - 34.1	35.9	30.31
1800	< 0.0001 - 0.001	0.974 - 0.997	34.5 - 39.0	26.9 - 35.1	37.0	32.67
2000	0.0001 - 0.001	0.974 - 0.996	33.4 - 40.0	26.4 - 46.2	37.0	34.46

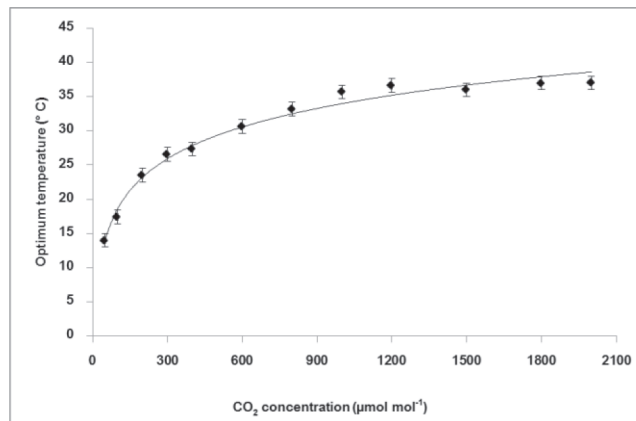
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ที่ทำให้การตอบสนองต่อ อุณหภูมิของอากาศของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเปลี่ยนแปลงไป โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์น้อยๆ คือ 100 μmol mol⁻¹ พบอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเปลี่ยนแปลงน้อย เมื่ออุณหภูมิของ อากาศเปลี่ยน แต่เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะ เพิ่มขึ้น และจะพบการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นด้วย และค่า อุณหภูมิที่เหมาะสม (T_{opt}) และค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ (P_{opt_Topt}) ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบแต่ละใบต่ออุณหภูมิใบ ที่ คำนวณจากแบบจำลอง 4th order polynomial equation ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับ 100, 200, 400, 800, 1,200 และ 1,800 µmol mol⁻¹ (จำนวนทั้งหมด 6 ซ้ำ)

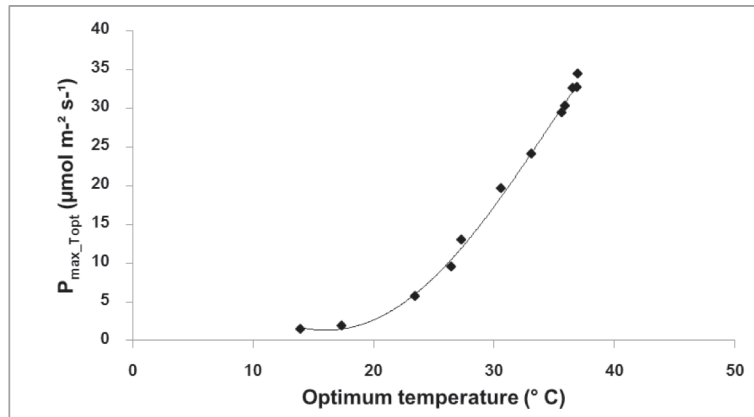
การศึกษาการตอบสนองอุณหภูมิของอากาศต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบยาวพาราเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่เพิ่มขึ้นจากช่วง 50 ถึง 1,000 µmol mol⁻¹ แต่แทบไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่เพิ่มขึ้นจากช่วง 1,200 ถึง 2,000 µmol mol⁻¹ (รูปที่ 3)

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับต่ำที่ $50 \mu\text{mol mol}^{-1}$ จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าเท่ากับ 13.9 องศาเซลเซียส ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีค่าเท่ากับ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นเป็น 27.3 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับ $12.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ตารางที่ 1) เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงมากขึ้นไปอีก จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย จนกระทั่งความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า $1,200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ขึ้นไป จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 36.6 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3) ในขณะที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นได้อีก (ตารางที่ 1)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เหมาะสม (T_{Opt}) ต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบยางพาราที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศระดับต่าง ๆ

การเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ นอกจากจะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมของใบยางพาราเพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นจาก 13.9 องศาเซลเซียส เป็น 37.0 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 37.0 องศาเซลเซียส มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเท่ากับ $30.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (รูปที่ 4) อุณหภูมิที่ 13.9 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดมีค่าเพียง $1.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เพิ่มสูงมากขึ้นกว่า $1,200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมากที่สุด อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ ($P_{\text{max_Topt}}$) ยังสามารถเพิ่มขึ้นได้ อุณหภูมิที่เหมาะสม (T_{Opt}) จะคงที่ประมาณ 37 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมากที่สุด ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ (P_{\max_Topt}) กับอุณหภูมิที่เหมาะสม ($Topt$) (ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศระดับต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3)

วิจารณ์ผลการทดลอง

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและอุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบยางพารา ซึ่งเป็นพืชที่มีเมแทบอลิซึมแบบ C_3 การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มมากขึ้นจากระดับในปัจจุบัน (ประมาณ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$) บ่งชี้ว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพารา ดังนั้น หากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศยังคงเพิ่มมากขึ้นต่อไปในอนาคตจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราเพิ่มมากขึ้นได้ ซึ่งจะมีแนวโน้มทำให้ทั้งชีวมวลและผลผลิตของยางพาราเพิ่มขึ้นได้ในระดับหนึ่ง

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา ซึ่งสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างมาก โดยที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ใบยางพาราสามารถสังเคราะห์แสงได้มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ของ (P_{\max_Topt}) ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 45 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มที่จะยังมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเป็นบวกเล็กน้อยได้ที่อุณหภูมิต่ำใกล้ 5 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูงเกือบ 50 องศาเซลเซียส

เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุหลักคือ (1) โดยปกติในพืช C_3 การสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยกระบวนการหายใจด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซออกซิเจนลดลง ดังนั้นจึงทำให้เอนไซม์ rubisco มีแนวโน้มเร่งปฏิกิริยาการตรึงก๊าซออกซิเจนในสัดส่วนเพิ่มมากขึ้น [5] และ (2) การเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทำให้อัตราส่วนของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น จึงทำให้อัตราการหายใจด้วยแสงน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นไปกว่าที่พบในสภาพที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับปกติ

สรุป

การศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราเพิ่มขึ้น คือที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ใบยางพาราจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ 27.3 องศาเซลเซียส เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น $1,000 \mu\text{mol mol}^{-1}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเป็น 35.6 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ $1200-1800 \mu\text{mol mol}^{-1}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 36.6 องศาเซลเซียส แต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยังเพิ่มขึ้นได้อีก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการไทย-ฝรั่งเศส และภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่

เอกสารอ้างอิง

1. Yamori, W., Hikosaka, K., & Way, D. A. (2014). Temperature response of photosynthesis in C_3 , C_4 , and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*, 119, 101-117.
2. Masaki, Y., Ishigooka, Y., Kuwagata, T., Goto, S., Sawano, S., & Hasegawa, T. (2011). Expected changes in future agro-climatological conditions in Northeast Thailand and their differences between general circulation models. *Theoretical and Applied Climatology*, 106, 383-401.
3. Withanage, S. P., Attanayake, D. P. S. T. G., & Karunasekara, K. B. A. (2005). Adaptability of recently recommended rubber clones for agro-climatic variability of Sri Lanka. *Journal of Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 87, 1-6.
4. Kositsup, B., Montpied, P., Kasemsap, P., Thaler, P., Ameglio, T., & Dreyer, E. (2009). Photosynthetic capacity and temperature responses of photosynthesis of rubber trees (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) acclimate to Changes in ambient temperatures. *Trees*, 23, 357-365.
5. Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. 4th Edition. Massachusetts. Sunderland Associates, Inc. p. 159.