View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Srinakharinwirot University: SWU e-Journals System

# อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศต่างๆ

**รุ้งตะวัน ทาบคำ[1] บุญธิดา โฆษิตทรัพย์[2] วีรศิลป์ สอนจรูญ[3] ดวงรัตน์ ศตคุณ[3] เชฏฐ์ สาทรกิจ[1] ชมภูนุช ฉายาเวช[3] อรอุมา ด้วงงาม[3] และ พูนพิภพ เกษมทรัพย์[1*]**

*ได้รับบทความ: 15 มีนาคม 2562*
*ได้รับบทความแก้ไข: 11 ตุลาคม 2562*
*ยอมรับตีพิมพ์: 24 ตุลาคม 2562*

**บทคัดย่อ**

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

**คำสำคัญ:** ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อุณหภูมิที่เหมาะสม

[1]ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
[2]ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
[3]ศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการไทย-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 $CO_2$ Concentrations

**Rungtawan Thabkhum[1], Boonthida Kositsup[2], Weerasin Sonjaroon[3], Duangrat Satakhun[3], Jate Sathornkich[1], Chompunut Chayawatand[3], Orunma Dunangnam[3] 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 $CO_2$ concentrations by measuring responses of the leaf net photosynthetic rates to the $CO_2$ concentrations in the air at different temperatures in temperature controlled room. The measurement was done using photosynthetically active photon flux at 1,400 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, 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 $4^{th}$ order polynomial equation. Then, the optimum temperatures for the net photosynthetic rate at different $CO_2$ concentration levels were estimated. The result showed that $4^{th}$ order polynomial equation provided good fit to the responses of the net photosynthetic rates to leaf temperatures. The changes in $CO_2$ concentration influenced the responses. Increased $CO_2$ concentration led to increased net photosynthetic rate and also the responsiveness of net photosynthetic rate to temperature. Finally, optimum temperature increased with $CO_2$ concentration up to approximately 1200 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$.

**Keywords:** $CO_2$ concentration, Net photosynthetic rate, Optimum temperature

[1]Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900
[2]Department of Botany, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Pathum Wan, Bangkok 10330
[3]Center 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 ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ยางพาราถูกนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น งานทางด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้าง วิศวกรรม การแพทย์ จนกระทั่งสื่อการเรียนการสอนและอุปกรณ์กีฬา ดังนั้น ในหลายภาคส่วนได้มีการส่งเสริมการผลิตยางพาราให้มีคุณภาพ เพื่อแข่งขันในตลาดโลกได้

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อพืช โดยเฉพาะอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้พืชได้รับผลกระทบโดยตรง ต่อการเจริญเติบโต [1] ยังมีรายงานว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคอุตสาหกรรม และชุมชนเมืองขนาดใหญ่ ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ยางพาราเป็นหนึ่งพืชที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ 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 ซึ่งจะนำไปสู่การคาดการณ์และจัดการการผลิตยางพาราให้มีประสิทธิภาพภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาพอากาศในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุประมาณ 1 เดือน ปลูกลงในกระถางขนาด 10 นิ้ว โดยใช้ชุดดินปากช่องจากสถานีวิจัยพืชไร่สุวรรณวาจกกสิกิจ รดน้ำทุกวัน และให้ปุ๋ยสูตร 16-16-16 เดือนละ 1 ครั้ง ปลูกเป็นเวลา 2 เดือน เพื่อให้ใบชุดใหม่ (ฉัตรที่ 2) เจริญเติบโตสมบรูณ์ 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 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ และตั้งค่ากำหนด

ให้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนก๊าซระบบเปิดบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ และคำนวณค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเมื่อค่าสัมประสิทธิ์รวมของการแปรผัน (total coefficient of variations) ต่ำกว่า 1% โดยเริ่มต้นวัดที่อุณหภูมิอากาศ 28 องศาเซลเซียสก่อน หลังจากเสร็จจึงนำกลับออกไปปลูกเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดิมนอกห้องเพื่อปรับตัวเป็นเวลานาน 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 μmol $mol^{-1}$ ก่อน จากนั้นจึงวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดน้อยลงมาเป็น 300, 200, 100 และ 50 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ ตามลำดับ ต่อมาจะปรับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็น 400 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ และรอจนกระทั่งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิคงที่แล้ว จึงวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 600, 800, 1,000, 1,200, 1,500, 1,800 และ 2,000 ตามลำดับ

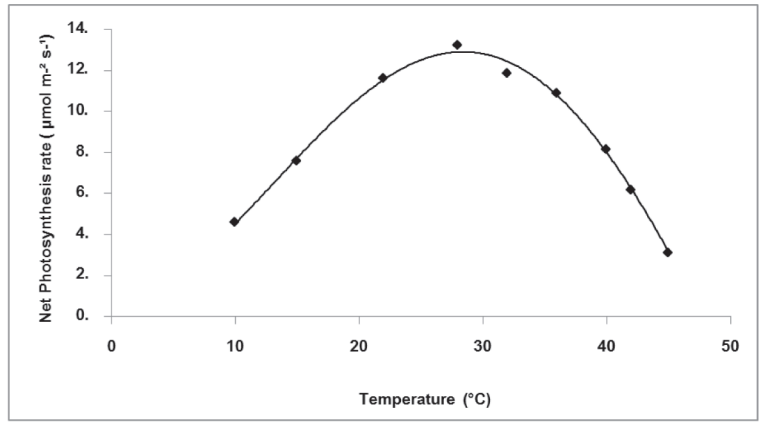
วิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบที่ความเข้มแสงสูงต่ออุณหภูมิใบ (ซึ่งจะแตกต่างประมาณ ±1 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิอากาศที่กำหนดไว้เมื่อทำการวัด ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศระดับต่าง ๆ ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปร (multiple linear regression model) โดยใช้สมการ $4^{th}$ 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 ($P_{max_Topt}$), ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ ($P_{opt_Topt}$) และนำค่าที่ประเมินได้จากแต่ละใบมาเฉลี่ยจะได้ $T_{opt}$, $P_{opt_Topt}$ และ $P_{max_Topt}$ ที่แต่ละระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

## ผลการทดลอง

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

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

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



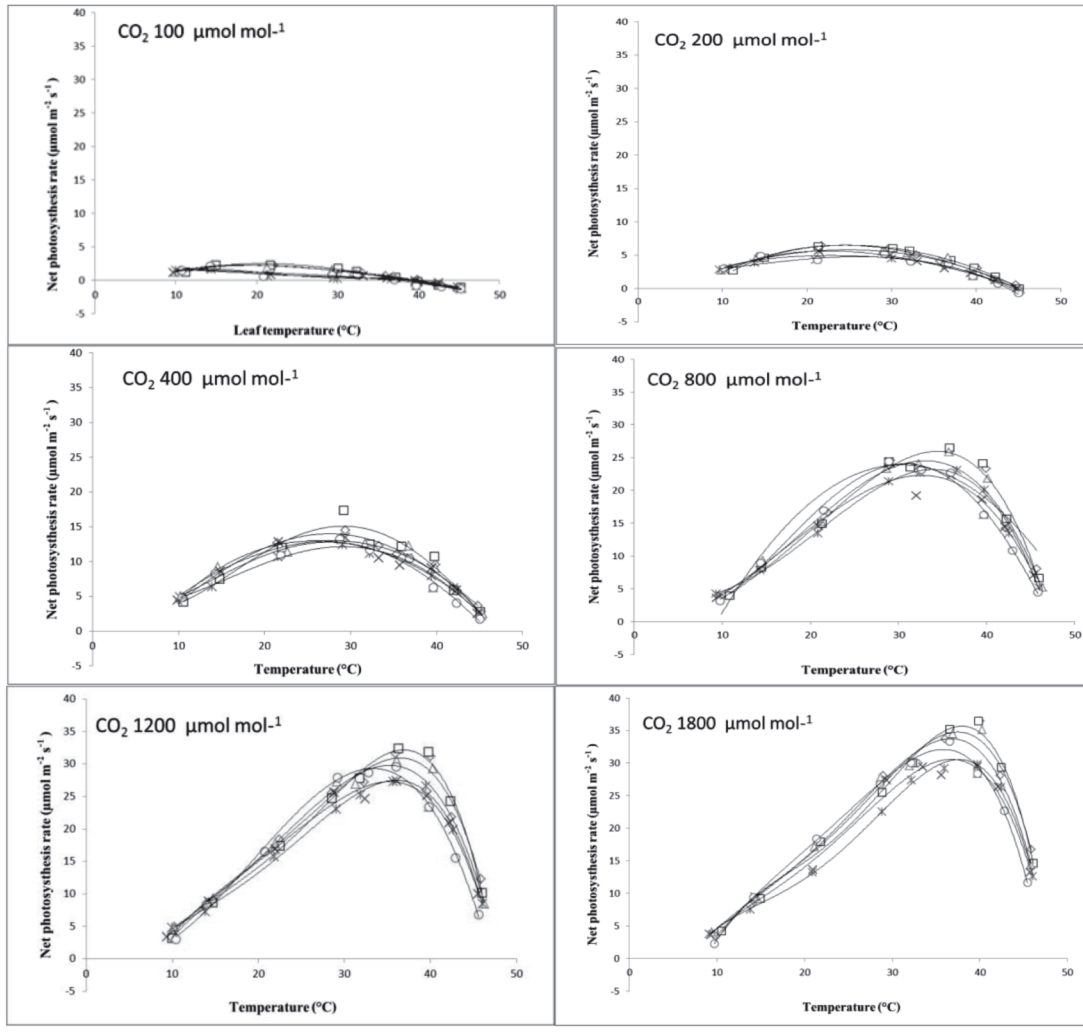

**รูปที่ 1** การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบต่ออุณหภูมิใบ ของต้นที่ 1 ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 400 μmol $mol^{-1}$ โดยเส้นทึบแสดงค่าที่ประเมินจาก $4^{th}$ order polynomial regression

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** ผลการวิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบที่ความเข้มแสงสูงต่ออุณหภูมิใบที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศระดับต่างๆ ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปร (multiple linear regression model) โดยใช้สมการ 4th order polynomial equation ($Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$)

| | | Ranges | | | Mean | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | Prob > F | $R^2$ | $T_{opt}$ ($^oC$) | $P_{max_Topt}$ ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) | $T_{opt}$ ($^oC$) | $P_{max_Topt}$ ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) |
| 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 |

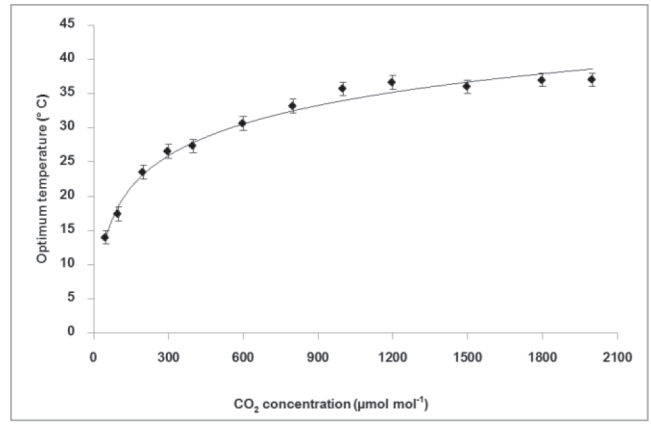
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ที่ทำให้การตอบสนองต่ออุณหภูมิของอากาศของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเปลี่ยนแปลงไป โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยๆ คือ 100 $\mu mol\ mol^{-1}$ พบอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเปลี่ยนแปลงน้อย เมื่ออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยน แต่เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะเพิ่มข้น และจะพบการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นด้วย และค่าอุณหภูมิที่เหมาะสม ($T_{opt}$) และค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ ($P_{opt_Topt}$)ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (รูปที่ 2 )




**รูปที่ 2** การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบแต่ละใบต่ออุณหภูมิใบ ที่ คำนวณจากแบบจำลอง $4^{th}$ order polynomial equation ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับ 100, 200, 400, 800, 1,200 และ 1,800 µmol $mol^{-1}$ (จำนวนทั้งหมด 6 ซ้ำ)

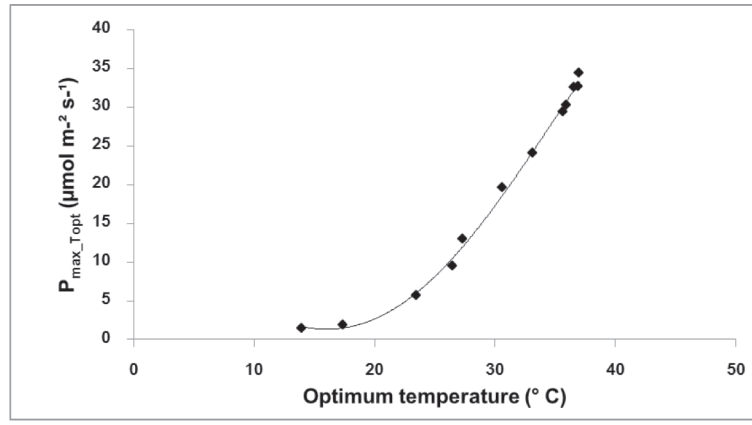
การศึกษาการตอบสนองอุณหภูมิของอากาศต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบยางพาราเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่เพิ่มขึ้นจากช่วง 50 ถึง 1,000 µmol $mol^{-1}$ แต่แทบไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่เพิ่มขึ้นจากช่วง 1,200 ถึง 2,000 µmol $mol^{-1}$ (รูปที่ 3)

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับต่ำที่ 50 μmol $mol^{-1}$ จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าเท่ากับ 13.9 องศาเซลเซียส ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 400 μmol $mol^{-1}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นเป็น 27.3 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับ 12.9 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (ตารางที่1) เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงมากขึ้นไปอีก จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย จนกระทั่งความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 1,200 μmol $mol^{-1}$ 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 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ (รูปที่ 4) อุณหภูมิที่ 13.9 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดมีค่าเพียง 1.5 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เพิ่มสูงมากขึ้นกว่า 1,200 μmol $mol^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมากที่สุด อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นๆ ($P_{max_Topt}$) 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 µmol $mol^{-1}$) บ่งชี้ว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพารา ดังนั้น หากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศยังคงเพิ่มมากขึ้นต่อไปในอนาคตจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพาราเพิ่มมากขึ้นได้ ซึ่งจะมีแนวโน้มทำให้ทั้งชีวมวลและผลผลิตของยางพาราเพิ่มขึ้นได้ในระดับหนึ่ง

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

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

## สรุป

การศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพาราเพิ่มขึ้น คือที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 400 μmol $mol^{-1}$ ใบยาพาราจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ 27.3 องศาเซลเซียส เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นที่ 1,000 μmol $mol^{-1}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเป็น 35.6 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 1200-1800 μmol $mol^{-1}$ 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.