

## ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบสะละพันธุ์เนินวงและสุมาลี Leaf Photosynthetic Potential of Sala (*Salacca spp.*) cv. 'Nern Wong' and 'Sumalee'

พรรณี ชื่นนคร<sup>1,2</sup> และ สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์<sup>1,2,\*</sup>  
Pannee Chuennakorn<sup>1,2</sup> and Suntaree Yingjajaval<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>2</sup> ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำนักงาน คณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

<sup>1</sup> Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

<sup>2</sup> Center of Excellence on Agricultural Biotechnology (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900, Thailand

รับเรื่อง: มิถุนายน 2560 Received: June 2017

รับตีพิมพ์: ตุลาคม 2560 Accepted: October 2017

\* Corresponding Author: suntaree.y@ku.ac.th

**ABSTRACT:** Leaf photosynthetic capacity of 'Sumalee', a new and increasing popular Sala cultivar was evaluated in comparison to the original cultivar 'Nern Wong'. The maximum net photosynthesis rate was attained from the first frond onwards, with frond number 10–11 showing full development in both cultivars. Maximal gross photosynthesis rates were similar at 12–13  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , but 'Nern Wong' required higher level of light saturation ( $700 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Under shadier environment, 'Sumalee' showed more robust growth, as it had lower dark- and photo-respiration rates, lower ratio of oxygenation to carboxylation, lower level of  $\text{CO}_2$  compensation but higher carboxylation efficiency. During light response measurement, repeated incidents were found that both cultivars were sensitive to high radiation ( $2000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). A period of longer than 3–5 minutes under intense radiation would induce the stomatal closure, limiting the rates of net photosynthesis, transpiration and electron transport. Measurement protocol had to be modified to initially expose the leaf to lower intensity of  $1000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

**Keywords:** Leaf development, light and  $\text{CO}_2$  response, light saturation point, stomatal conductance, photorespiration

Agricultural Sci. J. (2017) Vol. 48(3): 430–441

ว. วิทย. กษ. (2560) 48(3): 430–441

### บทคัดย่อ

การประเมินศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบสะละพันธุ์ “สุมาลี” ซึ่งเป็นพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการนิยมนิยมเพิ่มขึ้นเทียบกับ “เนินวง” ซึ่งเป็นพันธุ์ดั้งเดิม ทั้ง

2 พันธุ์มีอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิสูงตั้งแต่ทางใบแรกเป็นต้นไป และมีพัฒนาการของกระบวนการสังเคราะห์แสงเต็มที่ในทางใบที่ 10–11 โดยมีอัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุดใกล้เคียงกันในช่วง 12–13  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  แต่เนินวงต้องการแสง ( $700 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) สูง

กว่าสุมาลี ภายใต้สภาพร่ม สุมาลีเติบโตเร็วกว่าเนินวงชัดเจน เนื่องจากมีอัตราหายใจทั้งในที่มืดและเชิงแสง สัดส่วนของกระบวนการตรึง  $O_2$  ต่อการตรึง  $CO_2$  และจุดชดเชย  $CO_2$  ต่ำกว่า แต่มีประสิทธิภาพการตรึง  $CO_2$  สูงกว่า ในขั้นตอนการวัดเส้นตอบสนองต่อแสง มีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งคือ ทั้งสองพันธุ์อ่อนไหวเมื่อใบได้รับความเข้มแสงสูง ( $2000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) นานกว่า 3–5 นาที ซึ่งชักนำไปปากใบปิดแคบลง ทำให้จำกัดอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ อัตราคายน้ำ และอัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เปลี่ยนวิธีการวัดด้วยการให้ใบสัมผัสความเข้มแสงเริ่มต้นที่  $1000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$

**คำสำคัญ:** พัฒนาการของใบ, เส้นตอบสนองต่อแสง และต่อ  $CO_2$ , ความเข้มแสงที่เกิดอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิสูงอิมตัว, ค่านำไหลปากใบ, อัตราหายใจเชิงแสง

## บทนำ

สะละ หรือ สละ เป็นไม้ผลจัดอยู่ในสกุลระกำ (*Salacca* spp.) วงศ์ Arecaceae หรือวงศ์ปาล์ม มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินโดนีเซีย ปลูกมากในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดจันทบุรี (Rangsiruji *et al.*, 2006) โดยธรรมชาติแล้วสะละขึ้นในพื้นที่ชื้นแฉะริมน้ำและอยู่ในร่มไม้ใหญ่ เกษตรกรผู้ปลูกสะละจันทบุรีจึงเลียนแบบสภาพธรรมชาติ โดยปลูกไม้ยืนต้นบังแดดหนาแน่นและให้น้ำในปริมาณมากด้วยความถี่สูง ทำให้สวนอยู่ภายใต้สภาพร่มเกือบทั้งวันและดินแฉะอิมตัวด้วยน้ำ คุณปรีชา ปิยารมณ รองประธานชมรมผู้ปลูกสะละจันทบุรีได้อธิบายว่าเนินวงซึ่งเป็นพันธุ์การค้าดั้งเดิมที่เคยนิยมปลูกมากที่สุด ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ และมีอาการผิดปกติที่แก้ไม่ตกคือ ใบมีจุดสีเหลืองแห้งปรากฏทั่วสวน เนื้อผลยุบหรือฝ่อเป็นสีดำ ความผิดปกติดังกล่าว มีรายงานว่าเกิดจากดินมีสภาพกรดจัดร่วมกับเป็นดินแฉะ ทำให้แมงกานีส ( $Mn^{2+}$ ) ละลายออกมามากและสะสมในดินมากจนเป็น

พิษ (manganese toxic) (Poovarodom, 2012) การใส่ปุ๋ยแคลเซียม ไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ (Kanyawongha and Panchindawan, 2011) จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของใบสะละเนินวง (Yingjajaval and Ruangwittayachoti, 2008) พบว่า สภาพสวนสะละมีร่มเงาหนาแน่น ใบมีสัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี (Chl a:b) ต่ำกว่า 3.0 (2.6–2.9) ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นใบในร่ม ใบได้รับความเข้มแสงต่ำกว่าระดับที่ทำให้ใบสังเคราะห์แสงเต็มที่ (light saturation,  $I_5$ ) ที่ระดับ  $700 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  เกือบตลอดทั้งวัน ซึ่งจำกัดอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) และค่านำไหลปากใบ ( $g_s$ ) นอกจากนี้สภาพร่มเงาและดินที่แฉะเกือบตลอดเวลา ทำให้ภายในสวนมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) สูง แรงดึงคายน้ำของใบ (VPD<sub>leaf</sub>) ต่ำ ใบจึงมีอัตราคายน้ำ (E) ต่ำด้วย จำกัดการขนส่งธาตุอาหารพืช เช่น แคลเซียม ที่ถูกพาไปกับกระแสการคายน้ำเข้าสู่ใบและผล ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพผลได้ ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนั้นนำไปสู่คำแนะนำให้เกษตรกรปรับลดการให้น้ำและลดสภาพร่มเงาของสวนควบคู่กับการใส่ปุ๋ย ผลการปรับสภาพสวนได้ผลดี โดยพบว่า ใบที่สร้างขึ้นใหม่มีสีเขียวสดสมบูรณ์ ไม่แสดงอาการของแมงกานีสเป็นพิษ ใบมีระดับ A,  $g_s$  และ E เพิ่มขึ้น อีกทั้งผลผลิตสะละต่อต้นได้เพิ่มขึ้นจนชดเชยกับจำนวนต้นที่ได้ตัดทิ้งเพื่อลดร่มเงา และแทบไม่มีอาการเนื้อดำยุบในผลสะละ เนื้อผลมีคุณภาพดีขึ้นอย่างชัดเจน (Yingjajaval, 2009) ในช่วงนั้น ได้เกิดสะละพันธุ์ใหม่ เรียกชื่อกันว่า “สุมาลี” ซึ่งเป็นลูกผสมของสะละพันธุ์ “หม้อ” กับระกำ เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีคุณลักษณะหลายประการที่ดีกว่าเนินวงคือ มีทรงต้นที่โตเร็ว ใบที่กว้างกว่า ให้ผลผลิตสูงสม่ำเสมอ แสดงอาการแมงกานีสเป็นพิษน้อยกว่า ผลสวยและมีรสชาติหวาน ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่า ทำให้มีการปลูกพันธุ์สุมาลีทดแทนพันธุ์เนินวงในเวลาอันรวดเร็ว รายงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบสะละเนินวงกับสุมาลี ทั้งในส่วนของการกระบวนการใช้แสง

(light reaction) และกระบวนการตรึง CO<sub>2</sub> (carboxylation) เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการสภาพแสงในส่วน  
 สละให้ตรงตามความต้องการของสละพันธุ์ใหม่

คำย่อหลักที่ใช้ในรายงาน

Parameter, unit	Definition	Description
A, $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Net photosynthesis rate	อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ
A <sub>1000</sub> , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Net photosynthesis rate at PPF 1000	อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิที่ความเข้มแสง 1000
Chl a, g m <sup>-2</sup>	Chlorophyll a content	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ
Chl b, g m <sup>-2</sup>	Chlorophyll b content	ปริมาณคลอโรฟิลล์บี
Chl a:b	Ratio of Chlorophyll a to b content	สัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี
A/ETR, molCO <sub>2</sub> molE <sup>-1</sup>	Electron use efficiency	ประสิทธิภาพการใช้อิเล็กตรอนในการตรึง CO <sub>2</sub>
E <sub>1000</sub> , mmolH <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Transpiration rate at PPF 1000	อัตราการคายน้ำที่ความเข้มแสง 1000
ETR or J <sub>t</sub> , $\mu\text{molE m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Total photosynthetic electron transport rate	อัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนรวม
ETR <sub>1000</sub> , $\mu\text{molE m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Electron transport rate at PPF 1000	อัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนที่ความเข้มแสง 1000
g <sub>m</sub> <sup>CO<sub>2</sub></sup> , mmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Mesophyll conductance or carboxylation efficiency	ประสิทธิภาพการตรึง CO <sub>2</sub>
I <sub>c</sub> , $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Light compensation point	จุดชดเชยแสง
I <sub>s</sub> , $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Light saturation point	จุดความเข้มแสงอิ่มตัว
J <sub>o</sub> , $\mu\text{molE m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Photosynthetic electron transport to oxygenation	อัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการตรึง O <sub>2</sub>
PPF, $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Photosynthetic photon flux	ความเข้มแสงช่วงคลื่น 400–700 nm
PPF <sub>ini1000</sub> , $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Initial PPF of 1000 applied in light response measurement	ความเข้มแสงเริ่มต้น 1000 ที่ใช้ในการวัดเส้น-ตอบสนองต่อแสง
PPF <sub>ini2000</sub> , $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Initial PPF of 2000 applied in light response measurement	ความเข้มแสงเริ่มต้น 2000 ที่ใช้ในการวัดเส้น-ตอบสนองต่อแสง
P <sub>m</sub> , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Maximal gross photosynthesis rate	อัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุด
R <sub>d</sub> , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Dark respiration	อัตราหายใจในความมืด
R <sub>t</sub> , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Photorespiration rate	อัตราหายใจเชิงแสง
R <sub>lmax</sub> , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Maximum photorespiration rate	อัตราหายใจเชิงแสงสูงสุด
SPAD index	Chlorophyll content index	ดัชนีความเขียวใบ
T <sub>leaf</sub> , C	Leaf temperature	อุณหภูมิใบ
VPD <sub>air</sub>	Air vapor pressure deficit	แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ
VPD <sub>leaf</sub>	Leaf-to-air vapor pressure deficit	แรงดึงคายน้ำ
α, molCO <sub>2</sub> molPPF <sup>-1</sup>	Photosynthesis efficiency	ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง
φ <sub>dark</sub> fraction	Maximum quantum efficiency of PSII	ประสิทธิภาพการใช้อย่างสูงสุดของ PSII
φ <sub>PSII</sub> , molE molPPF <sup>-1</sup>	Light-adapted quantum efficiency of PSII	ประสิทธิภาพการใช้อย่างได้ในขณะได้รับแสงของ PSII
Γ, $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$	CO <sub>2</sub> compensation point	จุดชดเชย CO <sub>2</sub>

## อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาสละ 2 พันธุ์ ที่ปลูกอยู่ในสวนเดียวกันของคุณปรีชา ปิยามรย์ ต. พลับพลา อ. เมือง จ. จันทบุรี (N12° 35.72' E102° 10.12') ในเดือนตุลาคม 2551 พันธุ์เนินวงมีอายุต้น 14 ปี พันธุ์สุมาลีอายุ 2 ปี ในที่นี้แม้ว่าทั้งสองพันธุ์มีอายุต้นไม่เท่ากัน แต่มีอายุทางใบใกล้เคียงกัน โดยแต่ละทางใบมีอายุต่างกันประมาณ 1 เดือน (มีอัตราการสร้างทางใบใหม่ 1 ทางใบ/เดือน) โดยเลือกสายพันธุ์ละ 1 ต้นที่มีลักษณะสมบูรณ์ตามเกณฑ์มาตรฐานของสายพันธุ์ และเลือกตัวแทน 1 กอ ซึ่งมีจำนวนทางใบเท่ากันช่วง 14–15 ทางใบ/กอ สภาพอากาศกลางแจ้งในสวนสละ ได้จากสถานีอากาศรุ่น WD 900ET (Spectrum Technologies, U.S.A.) ติดตั้งที่ระดับความสูง 2.3 เมตรจากพื้นดิน เพื่อบันทึกความเข้มแสง (PPF) ส่วนสภาพอากาศภายในทรงพุ่มสละทั้ง 2 พันธุ์ ได้จาก Watchdog B-Series data logger รุ่น B102 T/RH (Spectrum Technologies, U.S.A.) ที่บรรจุอยู่ในภาชนะกันรังสีแสง (radiation shield) ติดตั้งกึ่งกลางทรงพุ่มที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจากโคนต้น เพื่อบันทึกอุณหภูมิ ( $T_{air}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) คำนวณค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ ( $VPD_{air}$ ) (Licor, 1990)

การวัดศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบในแต่ละพันธุ์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการประเมินพัฒนาการของใบตามลำดับทางใบ ตั้งแต่ทางใบที่ 1 (ทางใบบนสุดซึ่งใบย่อยคลี่เต็มที่แล้วอายุประมาณ 1 เดือน) จนถึงทางใบสุดท้ายของต้น (อายุประมาณ 14–15 เดือน) เพื่อกำหนดทางใบที่มีพัฒนาการของกระบวนการสังเคราะห์แสงแล้วเต็มที่ ซึ่งจะใช้ในการศึกษาส่วนที่ 2 ในการวัดเปรียบเทียบศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบสละเนินวงและสุมาลี

### 1. พัฒนาการของใบย่อยตามลำดับทางใบ

ศึกษาพัฒนาการของใบย่อยตามลำดับทางใบพันธุ์ละ 1 ต้น เลือกกอดตัวแทนพันธุ์ละ 1 กอ ทั้งสอง

พันธุ์มีจำนวนทางใบเท่ากันช่วง 14–15 ทางใบ/กอ ในที่นี้เก็บข้อมูลได้จำนวน 8 ทางใบจากจำนวนทางใบทั้งหมด เนื่องจากทั้งโครงสร้างของต้นสละซึ่งมีทางใบวนซ้อนกันอยู่ ทำให้มีบางตำแหน่งของบางลำดับทางใบที่ไม่สามารถโน้มทางใบมาวัดได้ และเวลาที่จำกัดในการเก็บข้อมูลที่ต้องทำในช่วงสั้น ๆ ของวันที่สภาพอากาศยังเอื้อให้ใบทำงานเต็มที่ วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของใบย่อยที่อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางทางใบ ตามลำดับทางใบในช่วงเวลา 8.30–13.00 น. ด้วยเครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สระบบเปิดรุ่น LI6400–40 (Licor, U.S.A.) กำหนดให้สภาพอากาศภายในกล่องบรรจุใบมีระดับคงที่ คือความเข้มแสง  $1000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (สูงกว่า I) ความเข้มข้น  $\text{CO}_2$   $400 \mu\text{mol mol}^{-1} T_{air}$  28 C RH 75–80% ทำให้  $VPD_{air}$  มีค่าอยู่ในช่วง 1–2 kPa ที่เอื้อต่อการเปิดปากใบได้มาก พารามิเตอร์ที่วัดได้เรียกว่าเป็นค่าที่ 1000 ได้แก่  $A_{1000}$ ,  $g_{s1000}$ ,  $E_{1000}$  และ  $ETR_{1000}$  นอกจากนี้ พารามิเตอร์ที่วัดเพิ่มเติม คือ ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII ในสภาพมืด ( $\Phi_{dark}$ ) วัดด้วยเครื่อง Pulse amplitude modulation fluorometer รุ่น Mini-PAM ในช่วง 18–19 น. เพื่อให้ reaction centers อยู่ในสภาพเปิดเต็มที่ (fully oxidized state) (Heinz Walz GmbH, 2003) หลังจากนั้น วัดค่าดัชนีความเขียวใบ (SPAD index) ด้วยเครื่อง Chlorophyll meter รุ่น SPAD-502 (บริษัท Minolta Camera, Japan) และเก็บตัวอย่างใบเพื่อสกัดและคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Moran (1982) การวัดทั้งหมดทำบนตำแหน่งบริเวณใบเหมือนกัน

### 2. ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบ

เปรียบเทียบศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบสละเนินวงและสุมาลี ในทางใบที่วัดว่ามีพัฒนาการเต็มที่แล้ว โดยวัดเส้นตอบสนองต่อแสง (light response function) ประสิทธิภาพการใช้แสงของ PSII ( $\Phi_{PSII}$ ) และประสิทธิภาพการตรึง  $\text{CO}_2$  ( $g_m^{CO_2}$ ) ด้วยเครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สชุดเดียวกันกับข้อที่ 1 กำหนดให้สภาพอากาศภายในกล่องบรรจุใบมีระดับ

คงที่ คือความเข้มข้น  $\text{CO}_2$   $400 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{T}_{\text{air}}$   $28 \text{ C}$ , RH 75–80% ทำให้ VPD<sub>air</sub> มีค่าอยู่ในช่วง 1–2 kPa ที่เอื้อต่อการเปิดปากใบได้มาก ส่วน PPF ได้ผันแปรโดยเริ่มต้นจากค่าสูงสุดที่  $2000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  แล้วลดลงเป็นขั้น ๆ จนถึงศูนย์

A(PPF) มีรูปฟังก์ชันแบบ non-rectangular hyperbola (Thornley and Johnson, 1990) เครื่องจะวัดประสิทธิภาพการใช้แสงได้พร้อมกัน โดยให้ค่า ETR ซึ่งมีรูปฟังก์ชันแบบเดียวกัน (Yin *et al.*, 2004) ประเมินพารามิเตอร์ทั้งหมดของฟังก์ชันตามวิธีของ Laywisadkul and Yingjajaval (2011)

อัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (total electron flow,  $J_t$  หรือ ETR) ที่เกิดขึ้นถูกใช้ทั้งในกระบวนการตรึง  $\text{CO}_2$  (carboxylation,  $J_c$ ) และกระบวนการตรึง  $\text{O}_2$  (oxygenation,  $J_o$ ) ดังนั้น  $J_t = J_c + J_o$

$$\text{โดยที่ } J_o = (2/3) \times [J_t - 4(A + R_d)] = 8R_l$$

เมื่อ  $R_l$  คือ อัตราหายใจเชิงแสง (photorespiration) ในปฏิกิริยาของเอนไซม์ RuBisCo ดังนั้น จึงประเมินอัตราหายใจเชิงแสงตามวิธีของ Valentini *et al.* (1995) ได้ว่า

$$R_l = (1/12) \times [ETR - 4(A + R_d)]$$

หลังจากวัดเส้นตอบสนองต่อแสงแล้ว จึงประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการตรึง  $\text{CO}_2$  ของเอนไซม์ RuBisCo (carboxylation efficiency) โดยวัด A ที่ผันแปรตามความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  โดยให้  $\text{CO}_2$  เริ่มต้นที่  $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$  แล้วลดลงเป็นลำดับจนถึงศูนย์ ภายใต้ความเข้มแสงคงที่ที่  $1000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (สูงกว่า  $I_0$ ) ประเมินพารามิเตอร์เส้นตอบสนองต่อ

$\text{CO}_2$  ตามวิธีของ Laywisadkul and Yingjajaval (2011)

### ผลการทดลองและวิจารณ์

สภาพอากาศกลางแจ้งในสวนสะละช่วงที่วัดศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบ (8.30–13.00 น.) ในเดือนตุลาคม 2551 มีความเข้มแสงเฉลี่ย  $950$  และค่าสูงสุด  $1,800 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ส่วนสภาพอากาศภายในทรงพุ่มสะละทั้ง 2 พันธุ์ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ย  $T_{\text{air}} 32\text{C}$ , RH 67% และ VPD<sub>air</sub>  $1.6 \text{ kPa}$  ซึ่งเป็นสภาพอากาศที่เอื้อให้ปากใบสะละเปิดได้มาก (Yingjajaval and Ruangwittayachoti, 2008)

#### 1. พัฒนาการของใบย่อยตามลำดับทางใบ

เนินวงและสุมาลีมีจำนวนทางใบเท่ากันคือ 14–15 ทางใบต่อกอ แสดงค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ของ 8 จากทั้งหมด 15 ลำดับทางใบ (Table 1) พบว่าอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิที่ความเข้มแสง  $1000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $A_{1000}$ ) มีค่าสูงตั้งแต่ทางใบแรก (อายุ 1 เดือน) ไปจนถึงทางใบที่ 10–11 (อายุ 10–11 เดือน) ค่าสูงสุดของทั้ง 2 พันธุ์อยู่ในช่วง 12–13  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  หลังจากทางใบที่ 11 เป็นต้นไป (ทางใบแก่) ค่า  $A_{1000}$  ลดลงตามลำดับทางใบ จนมีค่าต่ำสุดที่ทางใบสุดท้าย ด้านล่างสุดของทรงพุ่ม อยู่ในช่วง  $2.4\text{--}3.8 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ภายใต้สภาพอากาศในภาชนะบรรจุใบที่ถูกควบคุมให้ VPD คงที่ระดับหนึ่ง อัตราคายน้ำ ( $E_{1000}$ ) ผันแปรตามค่าน้ำไหลปากใบ ( $g_{s1000}$ ) เป็นหลักใหญ่ ไม่ขึ้นกับลำดับทางใบ สะละทั้ง 2 พันธุ์มีค่า  $E_{1000}$  ใกล้เคียงกันในช่วง  $1.0\text{--}2.7 \text{ mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  โดยมีค่าต่ำสุดในทางใบสุดท้ายอยู่ที่  $0.3\text{--}0.4 \text{ mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ซึ่งถือเป็นระดับอัตราการคายน้ำที่ต่ำ

**Table 1** Comparison of sala fronds on the rates of leaf gas exchange and electron transport, measured at constant environment (PPF=1000  $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), and chlorophyll content.

Parameters	Frond number of 'Nern Wong'								Average
	1	2	5	7	10	11	12	15	
$A_{1000}$ , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	11.1	12.7	8.0	8.6	11.0	10.8	7.2	2.4	9.0
$g_{s1000}$ , $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	133	195	86	113	146	170	119	18	122
$E_{1000}$ , $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	2.2	2.7	1.5	1.9	2.3	2.6	2.0	0.3	1.9
$ETR_{1000}$ , $\mu\text{molE m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	105	91	65	57	88	84	54	51	74
$\phi_{\text{dark}}$	0.77	0.80	0.83	0.84	0.81	0.79	0.76	0.84	0.80
SPAD index	59.6	68.0	73.1	80.8	76.5	78.7	79.4	83.5	75.0
Total chlorophyll, $\text{g m}^{-2}$	0.51	0.61	0.78	0.90	1.17	0.83	0.97	0.98	0.84
Chl a, $\text{g m}^{-2}$	0.41	0.48	0.60	0.69	0.89	0.64	0.74	0.75	0.65
Chl b, $\text{g m}^{-2}$	0.10	0.13	0.17	0.21	0.28	0.19	0.22	0.23	0.19
Chl a:b	3.9	3.8	3.5	3.3	3.2	3.4	3.3	3.3	3.5
Parameters	Frond number of 'Sumalee'								Average
	1	3	5	7	9	10	11	14	
$A_{1000}$ , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	11.1	12.0	10.1	10.9	11.7	11.0	7.3	3.8	9.7
$g_{s1000}$ , $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	143	165	142	152	152	144	72	26	124
$E_{1000}$ , $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	2.2	2.4	2.2	2.3	2.3	2.1	1.2	0.4	1.9
$ETR_{1000}$ , $\mu\text{molE m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	91	92	77	98	98	90	68	67	85
$\phi_{\text{dark}}$	0.77	0.78	0.78	0.78	0.81	0.83	0.80	0.83	0.80
SPAD index	57.4	77.8	76.8	81.6	85.5	82.8	80.9	89.6	79.1
Total chlorophyll, $\text{g m}^{-2}$	0.40	0.84	0.79	0.96	0.95	1.12	0.94	1.29	0.91
Chl a, $\text{g m}^{-2}$	0.33	0.66	0.61	0.74	0.73	0.86	0.72	0.99	0.71
Chl b, $\text{g m}^{-2}$	0.08	0.18	0.17	0.22	0.22	0.26	0.21	0.30	0.20
Chl a:b	4.2	3.7	3.5	3.4	3.4	3.3	3.4	3.3	3.5



ค่า  $\phi_{\text{dark}}$  แสดงสัดส่วนสูงสุดของพลังงานแสงที่ใบดูดกลืนที่ถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งชี้วัดความสมบูรณ์ของระบบรับแสง ใบสะละมีค่า  $\phi_{\text{dark}}$  ที่ผันแปรในช่วงแคบระหว่าง 0.76–0.84 (Table 1) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทางใบที่แก่ขึ้น ซึ่งแสดงแนวโน้มว่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ค่า  $\phi_{\text{dark}}$  เฉลี่ยทั้ง 2 พันธุ์เท่ากับ 0.80 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยของใบพืช C3 ที่เจริญเต็มที่ในสภาพปกติ (Bjorkman and Demmig, 1987) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและบี (Chl a, Chl b) และค่าตรรกษีความเขียว (SPAD index) มีค่าเพิ่มตามลำดับทางใบที่แก่ขึ้น ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงทางใบที่ 7–15 โดยสุมาลีมีระดับที่สูงกว่าเล็กน้อย (Table 1) ทั้งนี้ ใบสะละมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าเมื่อเทียบกับของพืชทั้งหมดที่เคยศึกษามา สัดส่วน Chl a:b มีค่าสูงในลำดับทางใบแรก ๆ ที่อายุน้อย (อยู่ด้านบนทรงพุ่ม ได้แดดเต็มที่) แล้วจึงมีค่าคงที่ที่ 3.3–3.4 ในทางใบที่แก่ขึ้น

ข้อมูลแสดงว่าค่า  $A_{1000}$ ,  $g_{s1000}$  และ  $ETR_{1000}$  ของใบสะละทั้ง 2 พันธุ์มีระดับที่สูงตั้งแต่ทางใบแรกที่คลี่เต็มที่ และมีค่าสูงประมาณคงที่จนถึงทางใบที่ 10–11 ขณะที่ค่า  $\phi_{\text{dark}}$  และปริมาณคลอโรฟิลล์แสดงการเพิ่มขึ้นจากทางใบแรก จนมีค่าสูงสุดและประมาณคงที่ในช่วงทางใบลำดับที่ 9–12 เมื่อถึงทางใบที่ 14–15 ค่าต่างๆ ได้ลดลงอย่างมาก ซึ่งแสดงถึงใบที่เริ่มหมดสภาพ ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกทางใบลำดับที่ 10 และ 11 เป็นตัวแทนทางใบที่มีพัฒนาการของกระบวนการสังเคราะห์แสงเต็มที่แล้วสำหรับการศึกษาเส้นตอบสนองต่อแสงและต่อ  $\text{CO}_2$

## 2. ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบ

วัดเส้นตอบสนองต่อแสงของใบสะละเนินวงเทียบกับสุมาลีในทางใบที่พัฒนาเต็มที่แล้ว (ทางใบที่ 10–11) พบว่าค่า A เพิ่มขึ้นตามระดับของ PPF (Figure 1a) ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการวัดหลายซ้ำ พบปรากฏการณ์ที่น่าสนใจคือ ใบสะละทั้ง 2 พันธุ์มีความอ่อนไหวต่อความเข้มแสงที่สูง โดยค่า  $g_s$  ปรับลดลง

อย่างรวดเร็วเมื่อใบได้รับความเข้มแสงสูงที่ 2000  $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  นานต่อเนื่อง 3–5 นาทีขึ้นไป ค่า PPF นี้เป็นระดับสูงสุดเริ่มต้น ( $PPF_{\text{ini}2000}$ ) ที่ให้แก่ใบพืชต่างๆ ก่อนเริ่มโปรแกรมวัดเส้นตอบสนองต่อแสงตามวิธีการปกติ การลดลงของ  $g_s$  เช่นนี้แสดงค่าอย่างชัดเจนในสุมาลี คือเมื่อเริ่มหนีบใบและให้ PPF สูงสุด 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  นาน 1–2 นาทีที่ก่อนเริ่มโปรแกรมวัด อ่านค่า A ได้ประมาณ 10  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  หลังจากนั้นเพียง 2–3 นาที ค่า A ได้ลดต่ำลงเหลือเพียง 3–4  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  เมื่อปากใบปิดแคบลงก่อนเริ่มโปรแกรมวัดเส้นตอบสนองต่อแสง ทำให้ A และ  $g_s$  มีค่าต่ำ (เส้นประใน Figure 1a–1b) และไม่สามารถหารูปฟังก์ชัน non-rectangular hyperbola ได้เหมือนใบของพืชอื่นที่เคยศึกษามา ผลที่ได้ครั้งนี้เหมือนที่เคยปรากฏในรายงานการศึกษาเส้นตอบสนองต่อแสงของใบเนินวงก่อนหน้านี้ (Yingjajaval and Ruangwittayachoti, 2008) ซึ่งเป็นกลไกที่น่าศึกษาเพิ่มเติมต่อไป ในการศึกษา การวัดเส้นตอบสนองต่อแสงของใบสะละจึงได้เปลี่ยนวิธีการวัดด้วยการให้ใบสัมผัสความเข้มแสงเริ่มต้นที่ 1000  $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $PPF_{\text{ini}1000}$ ) ก่อนเริ่มโปรแกรมวัด และให้ใบสัมผัส PPF สูงสุดอยู่ที่ระดับเพียง 1000  $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ก่อนจะลดลงเป็นขั้น ๆ จนถึงศูนย์ เพื่อลดผลกระทบต่อปากใบที่ปิดแคบลงเมื่อให้ความเข้มแสงสูง

พารามิเตอร์เส้นตอบสนองต่อแสงของใบที่ได้จากฟังก์ชัน non-rectangular hyperbola แสดงใน Table 2 ใบสะละทั้ง 2 พันธุ์ไม่มีอัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุด ( $P_m$ ) ที่คำนวณได้ใกล้เคียงกันในช่วง 12–13  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  แต่ค่า A ของเนินวงมีระดับต่ำกว่าสุมาลีอย่างชัดเจนที่ PPF เดียวกัน เนื่องจาก  $g_s$  ที่ต่ำกว่าเป็นตัวจำกัดการนำเข้า  $\text{CO}_2$  (เส้นทึบใน Figure 1a และ 1b) ใบเนินวงยังมีอัตราหายใจในที่มืด ( $R_d$ ) สูงกว่าสุมาลีถึง 8 เท่า นอกจากนี้ ในช่วงความเข้มแสงต่ำ (0–100  $\mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) เนินวงมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ( $\alpha$ ) ที่ต่ำกว่าสุมาลี กล่าวคือ เนินวงต้องใช้พลังงานแสง 37 โมลในการตรึง  $\text{CO}_2$  1 โมล ขณะที่

ซูมาลีใช้เพียง 24 โมล และสอดคล้องกับที่เนินวงมีค่า จุดขาดเขยแสง ( $I_c$ ) สูงกว่าซูมาลี คือต้องการความเข้มแสงที่สูงกว่าเพื่อขับเคลื่อนให้ได้อัตราสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าอัตราหายใจ ซูมาลีมีค่า  $I_c$  ที่ต่ำมากใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าใบเริ่มปรุงอาหารได้แทบจะทันทีที่มีแสง ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับที่พบในใบหน้าวัวที่ปลูกในโรงเรือนพรางแสง (Yingjajaval and Pailboon, 2017) นอกจากนี้เนินวงมีระดับความเข้มแสงอิ่มตัว ( $I_s$ ) อยู่ที่ประมาณ  $700 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ซึ่งสูงกว่าซูมาลีที่มีค่าประมาณ  $500 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  กล่าวได้ว่าใบเนินวงต้องการความเข้มแสงที่สูงกว่าใบซูมาลี จึงจะได้อัตราสังเคราะห์แสงสูงสุด

เมื่อใบได้รับ PPF เพิ่มขึ้น ค่า ETR เพิ่มขึ้นตามจนลู่เข้าสู่เพดานของค่าสูงสุด (Figure 1c) เป็นที่น่าสังเกตว่าฟังก์ชัน ETR (PPF) ของซูมาลีที่ได้รับแสงเริ่มต้น PPF  $ini_{2000}$  มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับที่ให้ PPF  $ini_{1000}$  (วัดในตำแหน่งใบย่อยและวันเดียวกัน) แสดงว่าปากใบซูมาลีที่ปิดแคบลงเมื่อถูกระทบโดยความเข้มแสงที่สูง (เส้นประใน Figure 1b) ทำให้การนำเข้า  $\text{CO}_2$  กลายเป็นปัจจัยจำกัดทั้งค่า A และ ETR

ค่าสัดส่วนระหว่าง A กับ ETR สะท้อนประสิทธิภาพการตรึง  $\text{CO}_2$  ต่อหนึ่งหน่วยอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ (Figure 1d) ค่า  $A/ETR$  แสดงการเพิ่มขึ้นตาม PPF แบบโดเดสูงทันที ในช่วง  $0-100 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  หลังจากนั้นจะมีระดับลดลง ภายใต้สภาพแสงแดดที่ไม่รุนแรง ใบซูมาลีมีปากใบที่เปิดได้มากกว่าใบเนินวง มีค่า A, ETR และ  $A/ETR$  สูงกว่า เป็นการชี้บ่งว่าใบซูมาลีมีการสูญเสียไปกับอัตราหายใจที่ต่ำกว่า ทั้ง 2 พันธุ์มีค่า  $A/ETR$  เฉลี่ยใกล้เคียงกันในช่วง  $0.10-0.12 \text{ molCO}_2 \text{ molE}^{-1}$  (Table 2) ค่านี้อยู่ในระดับเดียวกับพืช C3 ที่เคยรายงานไว้ ซึ่งแสดงว่าต้องใช้จำนวนอิเล็กตรอนในการตรึง  $\text{CO}_2$  ที่มากกว่าพืช C4 และ CAM (Hirun-on *et al.*, 2006; Pailboon and Yingjajaval, 2007; Chuennakorn and Yingjajaval, 2007; Laywisadkul and Yingjajaval, 2011)

อัตราหายใจเชิงแสง ( $R_i$ ) มีระดับเพิ่มขึ้นตาม PPF ในช่วง  $0-400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figure 1e) เนินวงมีค่า  $R_i$  สูงกว่าซูมาลีที่ความเข้มแสงเดียวกัน โดยมีค่าสูงสุด ( $R_{i_{\text{max}}}$ )  $3.9 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ที่ PPF  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ขณะที่ซูมาลีมีค่า  $R_{i_{\text{max}}}$   $3.7 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ที่ PPF  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  เมื่อคำนวณสัดส่วนระหว่างอัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนเพื่อกระบวนการตรึง  $\text{O}_2$  (oxygenation) ต่ออัตราเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนทั้งหมด ( $J_o/ETR$ ) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตาม PPF ในช่วงแรก (Figure 1f) แล้วมีค่าประมาณคงที่หรือลดลง ค่า  $J_o/ETR$  ของใบเนินวง ( $NW_{ini1000}$ ) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.43 กล่าวคือ ETR ถูกใช้ในกระบวนการตรึง  $\text{O}_2$  ที่ 43% และใช้ในการตรึง  $\text{CO}_2$  ( $J_c$ ) เพียง 57% และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ PPF สูงกว่า  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ขณะที่ใบซูมาลีมีค่า  $R_i$  และ  $J_o/ETR$  ต่ำกว่า คือมีการใช้ ETR ในกระบวนการตรึง  $\text{O}_2$  เพียง 34% และใช้ในการตรึง  $\text{CO}_2$  ได้ถึง 66%

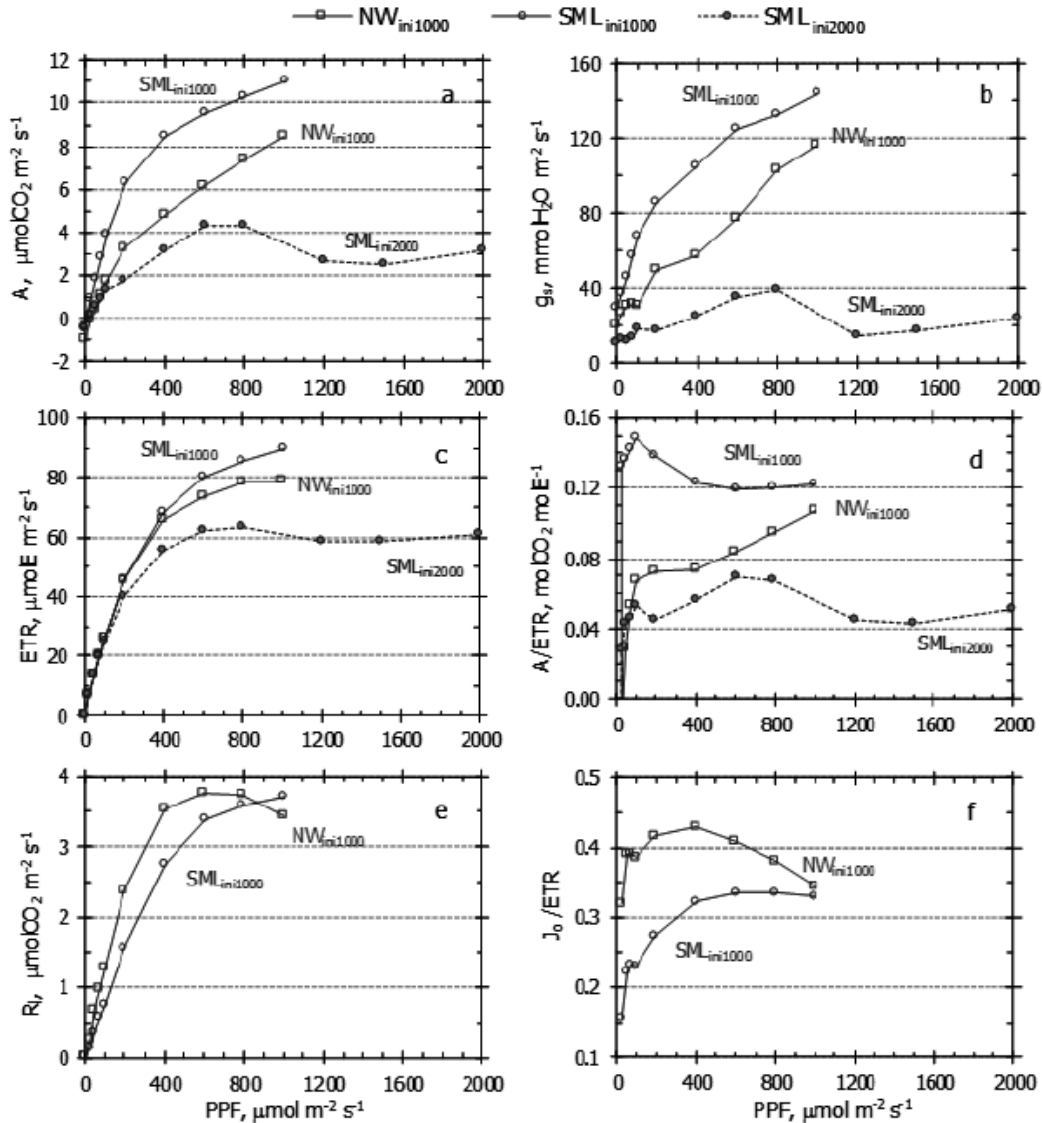
ระดับความเข้มแสงจึงมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบสะละทั้ง 2 พันธุ์ ปากใบตอบสนองต่อ PPF ที่สูงมากด้วยการปิดแคบลงอย่างไรก็ดี ภายใต้สภาพความเข้มแสงที่ต่ำกว่า  $1000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ใบซูมาลีมีค่า A,  $g_s$ , ETR, และ  $A/ETR$  ที่สูงกว่า อีกทั้งค่า  $R_i$  ต่ำกว่าใบเนินวง ดังนั้น ในสภาพที่ร่มกว่า สะละพันธุ์ซูมาลีจึงมีระดับการเติบโตที่รวดเร็วกว่าพันธุ์เนินวง

การวัดอีกกระบวนการหนึ่ง คือกระบวนการตรึง  $\text{CO}_2$  (carboxylation) แสดงได้ด้วยพารามิเตอร์ที่สะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการตรึง  $\text{CO}_2$  ได้แก่ จุดขาดเขยคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\Gamma$ ) และค่านำไหลเมสโซฟิลล์ ( $g_m^{\text{CO}_2}$ ) ดังแสดงใน Table 2 พบว่าเนินวงมีค่า  $\Gamma$  สูงถึง  $110 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$  ส่วนซูมาลีมีค่าอยู่ที่  $82 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับที่เนินวงมีอัตราหายใจ ( $R_d$  และ  $R_i$ ) ที่สูงกว่า และมีประสิทธิภาพการตรึง  $\text{CO}_2$  ( $g_m^{\text{CO}_2}$ ) ที่ต่ำกว่าประมาณ 1.5 เท่า อย่างไรก็ตาม ระดับค่า  $\Gamma$  ของใบสะละทั้งสองพันธุ์จัดว่าสูง



กว่าของพืช C3 ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าประมาณ  $50 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$  ขณะที่ระดับค่า  $g_m^{\text{CO}_2}$  ต่ำกว่าของไม้ยืนต้น C3

จึงกล่าวได้ว่าสะละเป็นพืช C3 ที่มีประสิทธิภาพของกระบวนการตรึง  $\text{CO}_2$  ที่ต่ำ



**Figure 1** Relation between photosynthetic parameters and radiation intensity (PPF) from light response of 'Nern Wong' (NW) and 'Sumalee' (SML) measured in October 2008. a. net photosynthesis rate b. stomatal conductance c. electron transport rate d. ratio of net photosynthesis rate to electron transport rate e. photorespiration rate and f. ratio of electron transport used in oxygenation ( $J_o$ ) to ETR. Subscripts  $_{\text{ini}1000}$  and  $_{\text{ini}2000}$  indicate the initial PPF intensities of 1000 and 2000 applied in light response measurements.  $\text{SML}_{\text{ini}2000}$  and  $\text{SML}_{\text{ini}1000}$  were from the same leaflet position and in same day.

**Table 2** Parameters of light and CO<sub>2</sub> responses of mature fronds of ‘Nern Wong’ and ‘Sumalee’, measured in October 2008 with initial applied PPF of 1000 μmolPPF m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>

Cultivar	‘Nern Wong’	‘Sumalee’
Mature frond no.	11	10
Light response parameters		
P <sub>m</sub> , μmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	13.3	12.1
g <sub>smax</sub> , mmolH <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	116	144
α, molCO <sub>2</sub> molPPF <sup>-1</sup>	0.027	0.042
R <sub>d</sub> , μmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0.8	0.1
I <sub>s</sub> , μmolPPF m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	676	466
I <sub>c</sub> , μmolPPF m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	30	1
R <sub>lmax</sub> , μmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	3.8	3.7
ΔETR, molCO <sub>2</sub> molE <sup>-1</sup>	0.10	0.12
ETR <sub>1000</sub> , μmolE m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	79	90
CO <sub>2</sub> response parameters		
g <sub>m</sub> <sup>CO<sub>2</sub></sup> , mmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	48.4	71.4
Γ, μmolCO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup>	110.3	82.4
average T <sub>leaf</sub> , C	32.6	32.4

### สรุป

สละทั้งสองพันธุ์มีพัฒนาการของกระบวนการสังเคราะห์แสงตามลำดับทางใบที่เหมือนกันและมีอัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุดใกล้เคียงกัน แต่เนื้องต้องการความเข้มแสงสูงปานกลาง 700 μmolPPF m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> จึงจะเกิดอัตราสังเคราะห์แสงเต็มที่ ในขณะที่สุมาลีต้องการสภาพแสงที่ร่มเงากว่า (500 μmolPPF m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) ภายใต้สภาพร่มเงา เนื้องมีศักยภาพการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าสุมาลีอย่างมาก เนื่องจากมีอัตราหายใจทั้งในที่มืดและเชิงแสงสูง และมีประสิทธิภาพการตรึง CO<sub>2</sub>

ที่ต่ำกว่าสุมาลี หรือกล่าวได้ว่า ในสภาพร่มเงากว่าสุมาลีเติบโตได้เร็วกว่าเนื้อง นอกจากนี้ทั้งสองพันธุ์อ่อนไหวต่อระดับความเข้มแสงที่สูงเกิน 1000 μmolPPF m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> จึงควรมีการจัดการสภาพแสงให้ตรงกับความต้องการแสงของสละทั้งสองพันธุ์

### ข้อเสนอแนะ

ตามธรรมชาติสภาพอากาศช่วงเช้าจะเอื้อให้ปากใบสละเปิดได้มาก แต่มักถูกจำกัดด้วยระดับความเข้มแสงที่ต่ำกว่าที่ใบต้องการ ในทางปฏิบัติจึงควรให้

ใบสะละได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ในช่วงครึ่งเช้าของวัน เพื่อให้ใบเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงได้เต็มศักยภาพ แต่ความเข้มแสงหลังเที่ยงวันเป็นต้นไปมักเกินระดับความต้องการใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งกลับส่งผลให้ปากใบเริ่มปิดแคบลงแทน ดังนั้นใบสะละจึงต้องการร่มเงาเพื่อไม่ให้รับแสงแดดโดยตรงในช่วงครึ่งหลังของวัน การมีต้นไม้สูงใหญ่และต้นไม้ให้ร่มที่บังแสงช่วงเที่ยงและบ่ายจะทุเลาความรุนแรงที่ใบได้รับลง สะละเนินวงมีความต้องการความเข้มแสงที่สูงกว่าสุมาลี ภายใต้สภาพที่ร่มเงามากกว่า (ความเข้มแสงไม่ควรเกิน  $1000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ใบของสุมาลีจะสามารถดำเนินกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ระดับสูงกว่าของเนินวง

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และขอขอบคุณคุณปรีชา ปิยารมย์ เกษตรกรผู้ปลูกสะละที่อนุเคราะห์พื้นที่สำหรับทำงานวิจัย และที่เปี่ยมด้วยน้ำใจในการให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่

## เอกสารอ้างอิง

- Bjorkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of  $\text{O}_2$  evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170 : 489–504.
- Chuennakorn, P. and S. Yingjajaval. 2007. Leaf photosynthetic potential of *Dendrobium spp.* Sonia ‘BOM JO’. *Agricultural Sci. J.* 38(5): 405–413. (in Thai)
- Heinz Walz GmbH. 2003. Photosynthesis Yield Analyzer, Mini-PAM, Portable Chlorophyll Fluorometer: Handbook of Operation. Eichenring, Germany.
- Hirun-on, S., S. Yingjajaval and S. Wasee. 2006. Leaf photosynthetic potential of hot pepper (*Capsicum annum* L.) in parental lines 83–168 and KKU cluster, F1 and F1 reciprocal. *Agricultural Sci. J.* 37(1): 65–75. (in Thai)
- Kanyawongha, P. and N. Phanchindawan. 2011. Sala quality improvement with calcium and boron fertilizers. Faculty of Agricultural Technology. King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang. Bangkok. (in Thai).
- Laywisadkul, S. and S. Yingjajaval. 2011. Light response of *Amaranthus tricolor* leaf at different levels of  $\text{CO}_2$ . *Agricultural Sci. J.* 42(2): 193–202. (in Thai)
- LI-cor. 1990. LI-6262  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  analyzer: Instruction manual. Publication No. 9003–59. LI-COR, Inc., Nebraska, U.S.A.
- Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. *Plant Physiol.* 69: 1376–1381.
- Paiboon, P. and S. Yingjajaval. 2007. Leaf photosynthetic potential of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agricultural Sci. J.* 38(6) : 483–492. (in Thai)

- Poovarodom, S. 2012. Chemical analysis result of nutrient concentration in sala 'Nern Wong' leaf. Unpublished. Faculty of Agricultural Technology. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Bangkok. (in Thai).
- Rangsiruji, A., T. Pongpawe and T. Donsakul. 2006. Karyotypes of some *Salacca* in Thailand and Indonesia. *SWU Sci. J.* 22: 48–61. (in Thai)
- Thornley, J.H.M. and I.R. Johnson. 1990. *Plant and Crop Modelling*. Oxford University Press. New York. p. 213–242.
- Valentini, R., D. Epron, P. de Angelis, G. Matteucci and E. Dreyer. 1995. *In situ* estimation of net CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic electron flow and photorespiration in Turkey oak (*Q. cerris* L.) leaves: diurnal cycles under different levels of water supply. *Plant Cell Environ.* 18: 631–640.
- Yingjajaval, S. 2009. Misconcept in management of salak orchard. *Ag–Bio Newsletter* 1(4): 13. (in Thai).
- Yingjajaval, S. and P. Paiboon. 2017. A success story of *Anthurium* growers who grasp the concept of VPD<sub>air</sub>. *Newsletter AG–BIO* 9(2). Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen. (in Thai).
- Yingjajaval, S. and P. Ruangwittayachoti. 2008. *Basic Physiology of Salacca* in Chanthaburi. Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen. 65 p. (in Thai).
- Yin, X., M. Van Oijen and A.H.C.M. Schapendonk. 2004. Extension of a biochemical model for the generalized stoichiometry of electron transport limited C3 photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 27: 1211–1222.